

地震発生環境条件下におけるせん断破損構成則の温度・圧力依存性

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

加藤 愛太郎[1], 大中 康譽[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、地震発生場に相当する温度・圧力条件下で岩石破壊実験を行うことで、すべり依存性構成則を規定するパラメータの温度・有効法線応力依存性を評価した。試料としてつくば花崗岩を用い、歪み速度は主に $10^{-5}/s$ に固定して実験を行った。準脆性領域（温度300度以上）における条件下では、構成則パラメータに対して、温度と有効法線応力のカップリングの効果が確認された。つまり、準脆性領域では有効法線応力が大きい程強度が低下するとともに、破壊の安定性も増すことがわかった。

地震の破損過程は、既存の弱面に沿った摩擦すべり破損過程と、巨視的弱面を含まない岩石の破壊過程の両者から成り[Ohnaka et al., 1997]、両者を同一の破壊法則をもって統一的に説明されるべきである。巨視的弱面を含まない岩石は、すべり破損面がほとんど固着した状態にあり、既存の弱面のエンドメンバーに相当する。特に、震源域の深部においては温度・圧力が高いため、既存の弱面が溶着を起こし固着が進むと考えられる。また、地震波の波形解析から断層面上の破損応力降下量は不均一に分布しており、その値は最大で100MPa程度になることがわかっている[e.g., Bouchon, 1997]。実際、巨視的弱面を含まない花崗岩の破損応力降下量は、100MPa程度であることが室内実験で確かめられている。従って、震源域とその深部における断層の構成則を理解するためには、既存の弱面に沿った摩擦すべり破損過程と、巨視的弱面を含まない岩石の破壊過程の両者を統一的に調べる必要がある。

地震の発生過程を記述するためには、断層運動を支配するせん断破損構成則が必要不可欠である。構成則の定式化において、これまで代表的なものとして、すべり速度及び状態変数依存性構成則と、すべり変位量依存性構成則の2つが考えられてきた。我々は地震の構成則として、摩擦すべり破損過程と岩石の破壊過程の両者を統一的に説明できるすべり変位量依存性構成則を用いる。

地震発生層においては、深さ・水平方向に温度、圧力などの地学的環境条件が変化するため、構成則を規定しているパラメータも環境条件の変化ととも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環境依存性を知ることは非常に重要である。我々は、巨視的弱面を含まない花崗岩を使用した岩石破壊実験を通して、構成則パラメータの温度・圧力・歪み速度依存性について研究を行ってきた[Ohnaka et al., 1997]。本研究では、これまで得られた結果をもとに、脆性-準脆性遷移領域における構成則パラメータの温度・圧力（有効法線応力）依存性に注目して議論したい。

湿潤状態の試料を用いた歪み速度 $10^{-5}/s$ で行った実験結果に注目する。最大せん断強度に関しては、温度300以下では有効法線応力の線形関数として表現できる。つまり有効法線応力則が成立していることを示す。一方、温度300以上では、上記の有効法線応力の線形関係から期待される値に比べ減少しており、有効法線応力だけでなく温度にも依存することがわかる。つまり、温度300をさかいに、脆性領域から準脆性領域に遷移すると考えられる。温度を420に固定し、有効法線応力を変化させた実験結果によると、線形関係から期待される値からの減少量は、有効法線応力が大きいほど大きくなる傾向にある。つまり、準脆性領域においては、有効法線応力が大きいほどより塑性的な振る舞いに近づき、有効法線応力と温度とのカップリングが示唆される。

破損過程の安定・不安定性にもっとも敏感なパラメータである slip-weakening rate の最大値に関しては、温度300以下ではほとんど一定値をとる。一方、温度300以上では、温度の増加とともにこの値は減少し破壊過程の安定性が増す。Slip-weakening rate の最大値の減少の仕方は、有効法線応力が大きいほど、大きくなる傾向にある。つまり、温度300以上では、有効法線応力が大きい条件ほど、破壊過程の安定性が増すことを意味する。

破損過程が完了するまでに必要なすべり変位量である臨界すべり変位量 D_c については、温度300以下でほとんど一定値をとる。一方、温度300以上で D_c は基本的に温度の増加とともに増加する。増加の仕方に、有効法線応力依存性が若干あるが明確ではない。

破損応力降下量に関しては、温度が300以下の条件下で約100MPaの値をとる。温度300以上においては、有効法線応力が大きい条件下の方が、温度の増加に対して減少する傾向にある。

これまで多くの室内実験が行われてきたが、地震発生環境条件下における高速度すべり領域下での実験例は数

少ない。高速度すべり領域では、摩擦熱の発生により断層面の溶融や thermal pressurization がおきると考えられる。このような過程が、断層の強度回復過程にどのような影響を与えるかを定量的に把握することは、地震発生サイクルを理解する上で非常に重要であり、室内実験を通して今後詳細に調べていくべきである