

論文審査の結果の要旨

氏名 加藤 愛太郎

論文は4章からなる。

第1章では研究目的が述べられる。最近の地震学の研究で断層面上では既存の弱面上でのすべり破損過程と既存の弱面を含まない岩石の破損過程の両者が共存していると考えられているが、岩石の破損過程に関する研究はほとんど行なわれておらず、本論文ではこの研究を行うことが述べられる。

本論文では破損過程をすべり変位量依存型のせん断破損構成則として表す。地震発生環境条件下におけるこの構成則パラメータの温度・有効法線応力・すべり速度依存性を解明するために、つくば産花崗岩（長さ 40mm、直径 16mm）資料を用いた実験を行っている。

第2章において、破損過程を表す構成則パラメータの温度・有効法線応力依存性についての研究結果が示される。

地震発生層では、温度、封圧、間隙水圧が常温・常圧下と比べて大きく異なっており、せん断破損構成則を規定するパラメータ (τ_p , $\Delta\tau_b$, D_c) は、温度と有効法線応力（封圧、間隙水圧）によって変化すると考えられている。このような効果を定量的に把握することは地震発生過程を理解する上で必要不可欠である。ここでの実験では歪み速度を $10^{-5}/s$ に固定し、温度 480°C 以下、封圧 480MPa 以下、間隙水圧 400MPa 以下での様々な温度、有効法線応力（封圧、間隙水圧）条件下で破壊実験を行なっている。この条件は地殻内の深さ約 17km までの条件に相当する。これらの実験をもとに構成則パラメータの温度・有効法線応力依存性が定量的に評価された。

その結果、温度 300°C 以下では温度の効果はほとんど現れず、最大せん断強度 τ_p は有効法線応力 σ_n^{eff} の線形関数として記述できた。また、破損応力降下量 $\Delta\tau_b$ と臨界すべり変位量 D_c はほぼ一定値になった。

一方、温度 300°C 以上では、各構成則パラメータは温度と有効法線応力 σ_n^{eff} の両者の関数として記述される。また、最大せん断強度 τ_p は、温度 300°C 以下における σ_n^{eff} との線形関係から期待される値に比べ減少し、 σ_n^{eff} が大きい程その減少量は大きいことがわかった。破損応力降下量 $\Delta\tau_b$ は温度の増加にともなって減少し、 σ_n^{eff} が大きい程より減少した。臨界すべり変位量 D_c は主に温度

の増加にともなって増加し、 σ_n^{eff} が大きい程より増加する傾向にあることがわかった。

以上の結果のメカニズムを考察するため破壊実験後に破損面近傍を顕微鏡で観察している。その結果、温度 300℃以上では黒雲母が顕著に塑性流動しており、同時に石英が若干塑性流動していることを確認された。破損面近傍のほとんどの粒子がクラックにより破碎されており、脆性破壊に若干の塑性流動が混合した結果、上記の様な温度 300℃以上における構成則パラメータの変化が生じたと推測している。また、乾燥試料を用いた場合には、300℃以上においても強度の減少量は小さく、湿潤試料を用いた場合に比べ強度が大きくなった。このことは、水により応力腐食などの化学反応が進行することで、乾燥状態にくらべ試料の強度が低下することを示唆する。

以上の結果から典型的な地殻内の温度・圧力・間隙水圧条件（静水圧）下における構成則パラメータ (τ_p , $\Delta\tau_p/Dc$) の深さ変化を示し、最大せん断強度 τ_p は、深さが 10km 以浅では深さに対して線形に増加するが、深さ 10km 付近で深さに対する増加率が徐々に減少し、15 km 以深ではほとんど一定値をとることが得られた。この振る舞いは脆性-塑性遷移領域に対応する。 $\Delta\tau_p/Dc$ は深さ 10km 以浅で一定値をとる。10km 以深では、 $\Delta\tau_p/Dc$ は深さとともに減少し破損過程の安定性が増し、動的な破損過程が発生し難くなった。このことは、地殻内の地震活動の下限が温度 400℃付近（深さ 15km 程度）に相当する要因の一つと考えられる。

第 3 章では、構成則パラメータのすべり速度依存性について評価が行われている。従来、地震発生環境条件下においてすべり速度の変化により構成則の性質がどのような影響を受けるのかに関してはほとんど解明されていない。すべり速度を低下させた場合に、物理化学過程が活性化し構成則パラメータはその影響も受けると予想される。温度・封圧・間隙水圧条件を固定し、歪み速度を $10^{-5}/s \sim 10^{-7}/s$ の範囲内で変化させ、構成則パラメータのすべり速度依存性が評価された。すべり速度の減少にともなって、最大せん断強度 τ_p はすべり速度の対数関数に従いながら減少した、この関係は、乾燥試料を用いた常温下で行なわれた過去の実験でも得られており、クラック先端における応力腐食がその原因だと考えられるとしている。破損応力降下量 $\Delta\tau_p$ と臨界すべり変位量 Dc も、すべり速度の減少にともない減少する。しかしながら、本研究の温度・有効法線応力条件下においては、すべり速度依存性は顕著ではなく、温度・有効

法線応力にほとんど依存しないことがわかった。応力腐食、破損面の固着や塑性流動が、すべり速度依存性のメカニズムと解釈している。

以上の研究は、地震発生環境条件下における構成則パラメータの温度・有効法線応力・すべり速度依存性を室内実験を基に定量的に評価し、岩石のせん断破損過程の解明を行なったものである。特に間隙水存在下におけるせん断破損構成則の温度・有効法線応力・すべり速度依存性を調べた研究は重要な成果であり、地震発生過程をモデリングする上で貴重な拘束条件を与えうる。このように地震発生場における断層の性質を推定し、地震のメカニズムを考える上で貴重な研究として高く評価できる。従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。