

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：82121

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760691

研究課題名(和文) AE信号と中性子回折の同時測定による岩石内き裂周辺の応力ひずみ評価

研究課題名(英文) Stress-strain analysis around crack in Rock sample using Neutron diffraction and AE signal measurement

研究代表者

阿部 淳(Abe, Jun)

一般財団法人総合科学研究機構(総合科学研究センター(総合科学研究室)及び東海事業・その他部局等・研究員)

研究者番号：70513604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：岩石材料の変形、き裂発生メカニズムを解析するために、中性子回折法を用いたひずみ測定を行いながら、AE信号を同時測定するシステムを開発した。一軸圧縮下にある岩石試料からの中性子回折パターンとAE信号を測定し、結晶鉱物中に蓄積したひずみ量が中性子回折より解析され、鉱物粒子の滑りや微小き裂の発生にともなって発生したとみられるAE信号を測定することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to study mechanism of deformation and crack propagation in rock samples, simultaneous measurement system of neutron diffraction patterns and AE signal have been developed. Lattice strain measured by neutron diffraction and AE signal that would be generated by grain slip and micro crack in a rock sample under uni-axial compression have been measured.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学 地球・資源システム工学

キーワード：地殻工学 中性子回折

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素の地下貯留や地熱エネルギーの抽出、さらには高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する技術開発が進められている。このような地下空間の工学的利用のためには、実験室での圧縮試験に基づく岩石中の応力ひずみ状態の解析が重要な役割を果たす。岩石材料の応力ひずみ解析は、従来、ひずみゲージや伸び計などを用いるマクロスコーピックな計測により行われてきたが、X線や中性子線を用いて、原子レベルの変位量からひずみを解析する手法が開発され、有力な手段になってきている。

これまでの研究代表者の研究により、茨城県東海村に建設された大強度陽子加速器施設：J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) の高強度中性子ビームを用いることにより、岩石材料のひずみ測定がこれまでよりも高精度・短時間で測定できるようになった。しかし、岩石材料がマクロに変形するメカニズムを解析するには、結晶に蓄積するひずみ量だけでなく、空隙の閉塞と微小き裂の発生、鉱物粒子の滑りなどについても解析する必要がある。一方では、岩石中にき裂が発生・進展し、主破壊に至るメカニズムを解析するには、微小き裂周辺のひずみ分布、応力集中の様子を明らかにする事が有効であると言える。

中性子を用いたひずみ測定で得られる情報は、結晶中に蓄積するひずみ量だけであり、変形やき裂が生じた時間や場所、メカニズムに関する情報は得られない。しかし、材料に変形やき裂が発生するときに生じる弾性波 (アコースティックエミッション: AE) を計測し、この AE の信号解析をすることで、これらに関する情報を得ることが可能である。そこで、中性子回折を用いたひずみ測定と AE 信号測定を組み合わせた測定システムを確立すれば、岩石内部に蓄積したひずみ量と滑りやき裂発生に関する情報が得られるようになり、岩石材料がマクロにひずむメカニズムを詳細に解析できるようになると考えられる。さらには、変形、き裂が発生した時間と位置がわかると、その周辺の応力ひずみ分布を測定することが可能になると考えられる。

中性子回折を用いたひずみ測定と AE 信号測定を組み合わせることにより、これまで実験的に求めることが不可能であった岩石内部のひずみ量、特に微小き裂周辺の応力ひずみ分布を3次的に求めることが可能となる。岩石内で発生・成長する微小き裂が岩石の物理的性質を大きく変化させ、ついには岩石の主破壊に至ることから、微小き裂周辺の応力ひずみ分布を明らかにすることが、岩石の破壊発生メカニズムの解明につながると考えられる。岩石材料の力学的な特性が明らかになることによって、地下深部空間の工学的利用に寄与することができると期待される。

2. 研究の目的

岩石試料がマクロに変形するメカニズムを解析するためには、鉱物中に蓄積するひずみ量だけでなく、空隙の閉塞や鉱物に発生するき裂、滑りなどを解析する必要がある。あるいは、岩石の破壊発生メカニズムを詳細に解析するためには、岩石試料内で変形やき裂が発生した周辺のひずみ分布を測定することが有効であると考えられる。圧縮試験を行いながらの中性子回折を用いたひずみ測定では、岩石内のどこにどのような変形あるいはき裂が発生したかを特定することは不可能である。岩石試料内から発生する AE 信号を測定し、解析することで、試料内に変形、き裂が発生した箇所、ならびに変形機構を特定できると考えられる。

そこで、本研究では、一軸圧縮試験を行いながら中性子回折パターンと AE 信号を同時に測定するシステムを開発し、ひずみ量と岩石内部で生じた変形、き裂に関する情報を同時に取得できるようにする。それにより、岩石材料にひずみが蓄積する詳細を解析し、加えて、岩石内部で発生した微小き裂まわりのひずみ分布測定を行い、応力集中の様子を明らかにする。これらのことから、岩石材料の変形、破壊発生メカニズムを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

中性子回折法を用いたひずみ測定は、茨城県東海村に建設された J-PARC の BL19 に設置されている工学材料回折装置「匠」で行い、AE 信号は、日本フィジカルアコースティクス社製の小型で携行性に優れた USB AE Node を用い、1ch での AE 測定を行った。AE 測定を行うのに先だって、中性子大型実験施設に特有のノイズが検出されたため、種々のノイズ対策を検討した。「匠」に備え付けられている材料強度試験機を用いて一軸圧縮試験を行いながら、中性子回折パターンと AE 信号を測定した (図 1)。

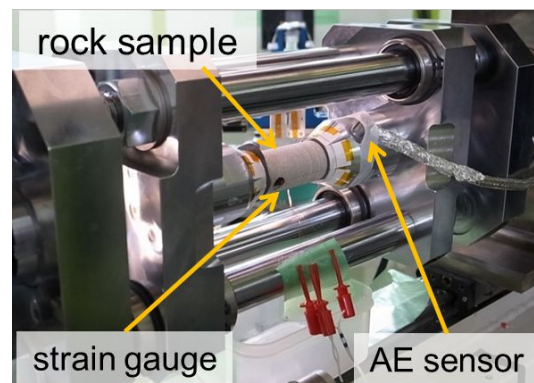


図 1: 中性子回折パターンと AE 信号の同時測定の様子

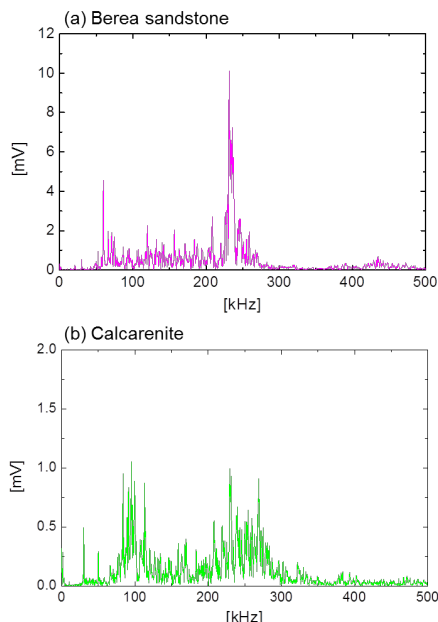
中性子回折パターンと AE 信号同時測定システムを立ち上げ、コミッションングのために、Mg 合金を用いて実験を行った。Mg 合金

は、圧縮応力下において、降伏応力近傍で双晶変形にともなう強い AE 信号を発生させることが知られている。コミッショニング完了後には、2 種類の岩石を用いて、一軸圧縮試験を行いながら中性子回折パターンと AE 信号の同時測定を行った。岩石試料は、空隙率が 19%程度で、主に細流な石英 (SiO_2) から構成されるベレア砂岩とカルサイト (CaCO_3) から構成される空隙率が約 34%のカルカレナイトを用いた。

4. 研究成果

Mg 合金を用いた中性子回折パターンと AE 信号の同時測定の結果、中性子回折パターンからは、結晶中にひずみが蓄積する様子を解析でき、ひずみの異方性などが観察された。さらに、AE 信号からは、双晶変形にともなう振幅の大きい信号と、塑性変形と考えられる振幅の小さい AE 信号を観察することができた。これらのことにより、材料の変形試験を行いながら中性子回折パターンと AE 信号の同時測定が行えるようになったと言える。

岩石材料を用いた中性子回折パターンと AE 信号の同時測定の結果、ひずみゲージから求まる岩石全体のマクロなひずみ量と中性子回折から求まる格子ひずみ量に差異が見られ、マクロなひずみ量の方が大きな値となった。これは、岩石材料では鉱物結晶中にひずみが蓄積するのに加えて、鉱物粒子のすべりや空隙の閉塞などが生じるため、よりマクロにひずみやすくなっているためと考えられる。AE 信号測定では、低い応力条件から AE 信号が検出され、AE 信号の周波数特性は岩種によって異なる傾向が観測された (図 2)。このことは、変形機構が岩種によって異なっていることを示していると考えられ



る。

図 2: ベレア砂岩(a)とカルカレナイト(b)の AE 信号周波数特性

AE 信号発生源の位置標定をするために、4ch の AE 測定システムを整備し、立ち上げ、コミッショニングを行った。これにより圧縮試験下にある岩石材料の変形、き裂発生箇所を特定することが可能になった。AE 信号解析により微小き裂が発生した位置を特定し、き裂まわりのひずみマッピング測定を行う予定であったが、J-PARC が 2013 年 5 月に計画外停止したため、測定は 2014 年度以降に行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

J. Abe, K. Sekine, S. Harjo, W. Gong, K. Aizawa, "Strain analysis in Geological materials using Neutron diffraction and AE signal measurement at J-PARC/BL19 "TAKUMI" " Materials Science Forum, 777, (2014) 219-224

〔学会発表〕(計 3 件)

J. Abe, K. Sekine, S. Harjo, W. Gong, K. Aizawa, "Strain analysis in Geological materials using Neutron diffraction and AE signal measurement at J-PARC/BL19 "TAKUMI"", MECASENS2013

阿部淳、関根孝太郎、ステファヌスハルヨ、ゴンウー、相澤一也、「中性子回折パターンと AE 信号の同時測定を用いたひずみ解析」中性子科学会第 13 回年会

阿部淳、関根孝太郎、ステファヌスハルヨ、ゴンウー、相澤一也、「AE 信号測定と中性子回折実験による工学材料中のひずみ解析」第 5 回 MLF シンポジウム

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 淳 (ABE, Jun)
一般財団法人総合科学研究機構 東海事業センター 研究員
研究者番号：70513604

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：