

3次元X線CTを用いた岩石試料の割れ目のフラクタル幾何学的特性 Fractal characteristic of fracture in glass or rock mineral by 3D X-ray CT measurement

八巻 淳子^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱 裕幸¹, 佐々木 治², 鹿納 晴尚²
Junko Yamaki^{1*}, Jun Muto¹, Hiroyuki Nagahama¹, Osamu Sasaki², Harumasa Kano²

¹ 東北大学理学研究科地学専攻, ² 東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館

¹Department of Earth Science, Tohoku University, ²Tohoku University Museum

岩盤の割れ目系は、その地域の地震活動などに大きな影響を与えるため(例えば Oncel *et al.*, 2001; Dieterich and Richards-Dinger, 2010)、割れ目分布の複雑さを捉えることは重要である。近年、フラクタル幾何学を用いて、割れ目系の複雑さを捉える研究が多くなされてきたが、そのほとんどは平面の割れ目トレースや地表面の断層分布の解析に留まっている(Ohno and Kojima, 1992; Sukumono *et al.*, 1997 など)。実際の割れ目は空間的に広がっているうえに、断層破砕帯の成長パターンをはじめとする多くの地学的特徴は、統計的に自己アフィンであるため(Turcotte, 1989; Nagahama, 1994)、割れ目の空間的な広がりを捉えその異方性を考慮した測定が必要である。

そこで本研究では、X線コンピュータ断層撮影(CT)法を用いて、実験的に破壊した岩石試料における割れ目のフラクタル幾何学的特性を、異方性に着目して調べることを目的とした。試料は、ホウケイ酸ガラス、単結晶石英を用いた。ガラスは長さ12.7 mm、直径6.0 mm、石英は長さ7.5 mm、直径3.0 mmで、それぞれ円柱状に成形した。破壊実験には、固体圧(Grggs型)変形試験機を用いた。封圧は大気圧(一軸圧縮)および300 MPa、軸変位速度は 5.0×10^{-4} /s、圧媒体に鉛を用いて室温で実験を行った。ガラス試料は、差応力約3.2 GPaで脆性破壊し、試料下部に破壊が集中して粉砕化した。石英試料は、封圧300 MPaにおいて、差応力約7 GPaで脆性破壊し、試料上部に破壊が集中した。石英試料の一軸圧縮では差応力約2.5 GPaで脆性破壊し、試料下部が粉砕化した。得られた試料は、X線CTを用いて空間解像度 $3 \times 10 \mu\text{m}$ 、X線源は111~121 kV, 61~111 μA で撮影を行った。画像処理ソフトにはImageJを用いた。圧縮方向(ϵ_1)に垂直および平行に撮影された各画像において、Box-Counting法を用いた割れ目の空間占有率(D_{BC})と破砕粒子の粒径分布についてのフラクタル次元(D_{PSD})を求めた。

封圧300 MPaで破壊したガラス試料において、割れ目の空間分布はフラクタルであった。 ϵ_1 と平行な各画像の解析では、 D_{BC} は画像の切り出す方向と解析位置によらず1.4~1.6に集中した。一方、 ϵ_1 に垂直な画像の解析では、粉砕が激しくなる下部に向かって、1.1から1.7まで増加した。同様に、一軸圧縮によって試料下部が粉砕破壊した単結晶石英の破砕粒子の粒径分布もフラクタルであり、 ϵ_1 に垂直な面における D_{PSD} は、0.8から3.1と、破砕が激しい下部ほど高い値を示した。破壊面形状のフラクタル次元と破壊エネルギー密度は比例関係であることから(Nagahama and Yoshii, 1994)、比較的均質な物質であるガラスや単結晶の石英においても、破壊エネルギー分布の不均質性が生じている可能性を示唆している。また、ガラス試料の薄片において、SEMを用いて、 D_{BC} と D_{PSD} の比較を行ったところ破砕粒子の粒径が1~100 μm の範囲でどちらにおいてもフラクタル性が認められた。その関係は $2D_{BC} = D_{PSD}$ となり、割れ目の等方性を仮定している長濱(1992)の理論式 $2D_{BC} = D_{PSD} + 1$ と一致しない。

以上のことから、割れ目分布には異方性があり、解析面方向が異なるフラクタル次元を比較する際には、異方性を考慮する必要がある。

キーワード: フラクタル, X線CT画像, 異方性, 破砕幾何学

Keywords: fractal, 3D X-ray CT images, anisotropy, fracture geometry