岩石の破壊挙動評価のための画像解析手法に関する研究

埼玉大学　学生会員　○安　昶完
埼玉大学　正会員　長田　昌彦
産業技術総合研究所　正会員　高橋　学

1．はじめに

現在、岩石内部の破壊に関する情報を得るために、さまざまな研究が行われている。岩石内部の3次元的な情報を得る方法として、例えば拘束圧の影響[1]や透水現像の可視化[2]などの研究にX線CTが使われているが、ひずみを抽出するまでには至っていない。

本研究では、テンプレートマッチング[3],[4]を用いて画像解析手法の開発を試みた。より高精度なmicro focus X線CT画像をもとに画像解析手法を開発することで、岩石の破壊挙動と亀裂の形状について定量的に評価することを目的とする。

2．せん断破壊試料の2次元画像解析

3次元画像解析を行う準備として2次元画像解析を行った。比較画像としては、一面せん断破壊前後の試料を用いた。解析では、破壊前の画像でテンプレートを作り、破壊後の画像とマッチングを行い、2次元的な変位分布を求めた。結果の一部として、その変位分布からひずみ分布を得ることができる。せん断ひずみ分布を図-1で示す。

せん断ひずみ分布から、中央部に大きい値が見られ、実際の亀裂と対応している。よって、テンプレートマッチングを用いる解析が、有効であることが分かった。

3．CT画像を用いた3次元画像解析

(1)　対象とする画像

岩石の破壊挙動についての3次元的な解析を行うために、一般のX線とは比べて高精度なmicro focus X線CTで撮影した一面せん断破壊試料の画像を用いた。図-2に破壊前後のCT画像を重ね合わせて作られた立体画像を示す。

(2)　3次元テンプレートマッチング

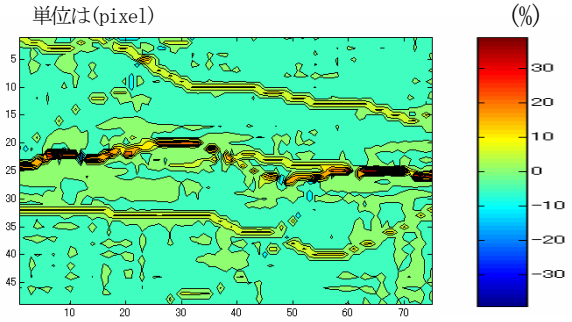
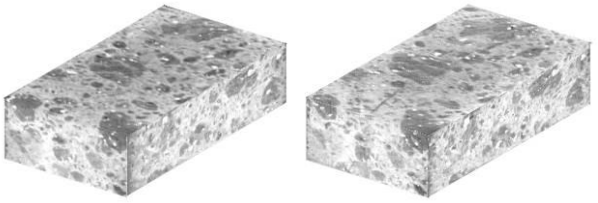


図-1　せん断ひずみ分布（1pixelは、0.132㎜に相当する）



(a) 破壊前　　(b) 破壊後

図-2　破壊前後のCT立体画像（規格は、6×4×2cm^3）

3次元画像解析では、2次元での平面テンプレートを3次元的に拡張した立方体テンプレートを用いて、対象となるCT立体画像とのマッチングを行う。

(3)　結果

立体画像でテンプレートマッチングを行うことで、各場所の変位・ひずみを求めることができる。図-3で示す全領域の範囲でマッチングを行った結果、各平均ひずみは、X軸で-0.52%、Y軸で-1.07%、Z軸で-3.13%であった。この結果から、Z軸方向(縦軸)に膨らんでいることが分かる。（圧縮を正とする）

岩石は非規則的な変形が起こるので、今までは膨張した体積を求めることが困難であったが、この3次元画像解析を行うことにより、 非規則的な変形であっても変形後の体積を求めることができる。破壊前の供試体の体積が49.2cm^{3}であることから、破壊後の供試体の体積を

キーワード：micro focus X線CT、一面せん断試験、テンプレートマッチング、3次元画像解析、ひずみ分布
連絡先：〒338-8570　埼玉県さいたま市桜区下大久保255　埼玉大学地圏科学研究センター　TEL 048-858-3547

求めると51.6cm³になる。破壊後のCT画像は、拘束圧がすでに開放された後に撮影したものであり、亀裂による膨張であるという仮定から、破壊前後の供試体の体積の差2.3cm³は、亀裂体積に相当すると考えられる。

表-1には、図-3で示すように9等分の領域に分け、各領域に当たるデータを整理した。各軸ひずみ分布から、X軸ひずみ分布の領域③⑥を除いたすべての領域が伸びていて、全体的に膨張していることが分かる。領域③⑥が他の領域と比べZ軸において顕著に引張となっていることから、X軸ひずみが圧縮になった部分がZ軸には大きく引張となっていることが分かる。予想亀裂面を含む領域で、Y軸ひずみの値が大きく引張となっていることと、せん断ひずみの値が大きいことから、2次元画像解析での結果に対応していることが分かる。

(4) 亀裂面の可視化

表-1の体積ひずみ分布で示したように領域③が最も膨張しており、膨張部で亀裂が多く発生しているという仮定から、この領域③を対象に局所的な範囲での画像解析を行った。

ここでは、体積ひずみの値が-15%より小さい、すなわち膨張している場所に亀裂が入っていると仮定し、図-4[b]に亀裂面の3次元的な可視化を試みた結果を示す。図-4[a]で示す局所範囲でのCT立体画像と比較すると、現時点で精度は落ちるが傾向は対応していることが分かった。

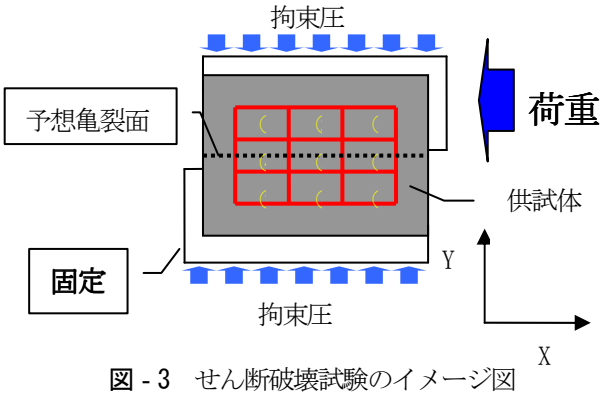


図-3 せん断破壊試験のイメージ図

表-1 各領域におけるひずみ分布

領域の番号		
①	②	③
④	⑤	⑥
⑦	⑧	⑨

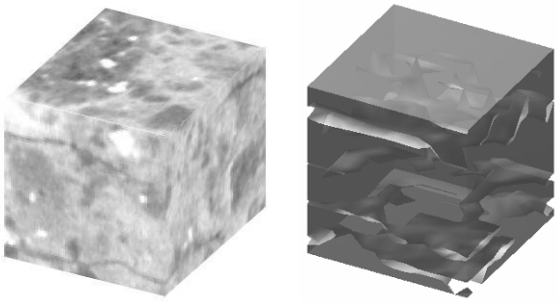
X軸ひずみ分布(%)		
-1.09	-0.52	0.04
-1.42	-0.40	0.29
-0.84	-0.46	-0.60

Y軸ひずみ分布(%)		
-0.68	-1.22	-1.09
-1.96	-1.35	-1.72
-0.65	-0.82	-1.11

Z軸ひずみ分布(%)		
-2.03	-3.78	-5.92
-2.59	-2.97	-5.10
-1.96	-2.13	-2.28

体積ひずみ分布(%)		
-3.80	-5.52	-6.97
-5.97	-4.72	-6.54
-3.45	-3.40	-3.99

せん断ひずみ分布(%)		
0.42	0.79	0.61
2.29	1.40	1.46
0.15	0.22	0.44



(a) CT立体画像　　(b) 亀裂面の可視化

図-4 亀裂面の可視化（規格は、1×1×1cm³）

4. おわりに

2次元画像解析の結果より、 岩石の破壊挙動を解析する手法としてテンプレートマッチングを用いることが有効であることが分かった。また3次元の画像解析では、表面では見られない供試体内部の変位分布が求まった。

亀裂の体積は透水性と密接な関係があり、3次元画像解析から岩石の亀裂体積を求めたことは、透水係数を見積もるときに有効であると考えられる。

ひずみの計算に用いる立体を大きくすることと、テンプレートの間隔をより小さくすることで、より精度を上げることが期待できる。より精度を高めることで、亀裂幅・亀裂の荒さの表現、亀裂の連続性を評価することが期待できる。

参考文献

[1] 高橋学ら：マイクロフォーカスX線CTを用いた拘束圧下における岩石の構造観察について、応用地質第45巻第4号、192-196項、2004.

[2] 菅原勝彦ら：X線CTによる岩石透水現像の可視化、第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、p.341-346、1998.

[3] 河田聡ら：科学計測のための画像データ処理、p.207-220.

[4] CG-ARTS協会：ディジタル画像処理、p.202-250.