

岩石の亀裂進展観察におけるデジタル画像相関法の適用性に関する基礎的検討

山口大学大学院 学生会員 ○田中寿璃
山口大学大学院 正会員 中島伸一郎

1. はじめに

空洞掘削時の地山の力学挙動や岩盤構造物の安定性を評価する上で、岩盤内部における亀裂の発生と進展を適切に表現することは重要である。特に硬岩の場合、亀裂の発生進展は極めて短時間で生じるため、その過程を実験的に観察することは容易ではない。近年ではデジタルカメラの性能が向上し、高速度・高解像度で岩石破壊実験を撮影できるようになってきている。画像処理によりひずみ分布を面的に計測することができれば、ひずみの局所化や破壊の発生・進展を追跡することが可能である。

本研究では、画像処理により面的なひずみ分布を求める手法であるデジタル画像相関法の、岩石破壊観察への適用性を検討することを目的として、岩石模擬材料として石膏を用いた圧裂試験を実施した。

2. デジタル画像相関法の概要¹⁾²⁾

デジタル画像相関法は、試験体表面に塗装されたスペックルパターン（不規則斑点）をカメラで撮影し、変形前後の画像の相関から変位分布やひずみ分布を計測する手法である。

実際の解析では、デジタル画像を小さな領域（相関窓）に分割して各領域を自動的に追跡して対象領域全域の変位を算出する。基本的な手順は以下のとおりである。

- 1) 変形前後のデジタル画像を取得する。
- 2) 変形前の画像内に基準となる節点群を設定する。
- 3) 各節点を中心に相関窓のサイズを定義する。本研究では供試体 No.1 で半径 16 pixel の円形のひずみ窓を、供試体 No.2 で半径 10 pixel の円形のひずみ窓を定義した。
- 4) 変形後の画像で相関窓を動かしながら相関係数を算定する。
- 5) 相関が最も高い位置を移動後の領域と決定する。この状態でピクセル単位の移動量が求まる。
- 6) 5) で得られた整数ピクセル単位での移動量に対してサブピクセル（小数点ピクセル）補正を行う。

キーワード デジタル画像相関法 石膏 圧裂試験
連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9334

これにより実数での変位分布を求めることが可能になる。本研究では B スプラインによる補間を行っている。

- 7) 得られた変位場をもとに、相関窓の伸縮量および変形量を用いて直ひずみ、せん断ひずみを求める。

本研究では、上記の解析手順を自動化した MATLAB プラグインの Ncorr³⁾を用いている。

3. 石膏の圧裂試験の高速度カメラによる撮影

(1) 実験概要

石膏の供試体（直径 50 mm、長さ 50 mm）表面に市販の黒スプレーを 30 cm 離して吹き付けスペックルパターンを作成し、圧裂試験を行った。スペックルパターンの平均サイズは、黒い点 1 つあたり 50 pixel 程度である。供試体の寸法および撮影条件を表-1 に、スペックルパターンを図-1 に示す。高速度カメラは、キーエンス社の VW-600C を用いた。また、実験の様子を図-2 に示す。载荷速度は 3.0 kgf/s で行った。

表-1 供試体の寸法および撮影条件

供試体名	No. 1	No. 2
直径 (mm)	48.60	49.67
長さ (mm)	49.85	48.10
フレームレート (fps)	4,000	8,000
シャッタースピード (秒)	1/8,000	1/16,000
画像サイズ (pixel)	640×480	640×240

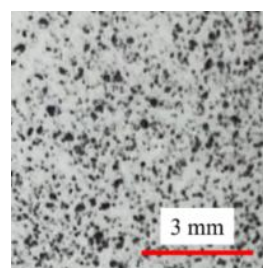


図-1 スペックルパターン 図-2 実験の様子

(2) デジタル画像相関法による解析結果

デジタル画像相関法により石膏表面のひずみ分布を求めた。図-3はNo.1の亀裂発生直前から発生時までの水平方向直ひずみを示している。ここで、解析結果に関しては、全て右向きを正とするX軸をとっており、直ひずみは引張が正となる。なお、動画を連続画像に変換したもののうち、目視で亀裂が入ったと見なせる1枚を亀裂発生時とした。図-3の③が亀裂発生時であり、②が③の1コマ(250 microsec)前、①が③の2コマ(500 microsec)前の画像である。図-3より、②の白丸部で亀裂発生直前のひずみ分布が見られるが、②の1枚のみである。

No.2の亀裂発生直前から発生時までの水平方向直ひずみを図-4、図-5に示す。図-4の④が亀裂発生時であり、③が④の1コマ(125 microsec)前、②が④の2コマ(250 microsec)前、①が④の3コマ(375 microsec)前の画像である。図-4より、供試体中央aおよび下部bに水平方向の引張ひずみが蓄積し、それらがつながる形で最終的な亀裂へと発達していることが確認できる。また、図-4の①~④それぞれ同じ箇所にa点とb点をプロットし、2点におけるひずみ増加の過程をグラフ化(図-5)した。図-5より、a点、b点どちらも375 microsecの間でX方向直ひずみが線形的に増加していることがわかる。

以上より、载荷速度にもよるが、ひずみ蓄積から亀裂発生までの時間は短いため、4,000 fpsでは破壊の進展を捉えることが難しいことがわかった。

4. まとめ

高速度カメラを用いた圧裂試験の撮影を行い、デジタル画像相関法を用いて画像解析することで、時間経過におけるひずみ増加過程を観察した。その結果、亀裂発生直前のひずみ増加を捉えることができた。ただし、ひずみの局所化から亀裂発生までを精密に観察するためには100,000 fps程度の速度は必要であり、画像解像度も480×480 pixel程度以上であることが望まれる。

参考文献

1) Pan, B., Lu, Z., Xie, H. : Mean intensity gradient: An effective global parameter for quality assessment of the speckle patterns used in digital image correlation, Optics and Lasers in Engineering, 48, pp.469-477, 2010.

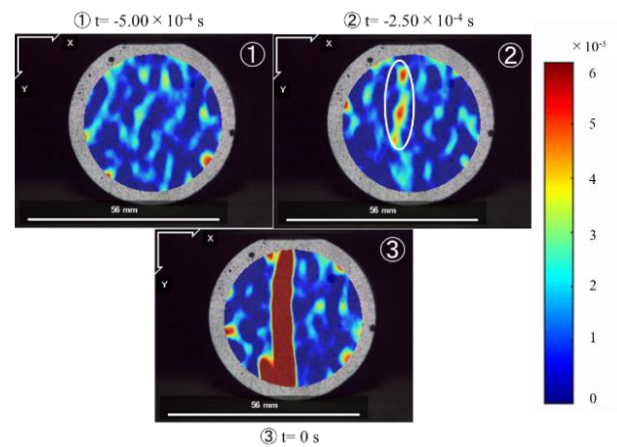


図-3 No. 1 の X 方向直ひずみ分布

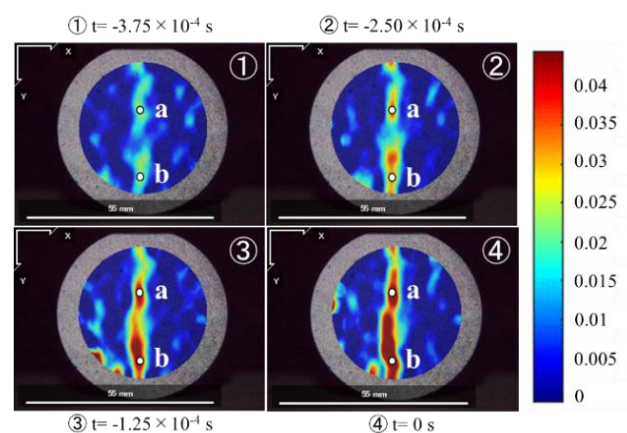


図-4 No. 2 の X 方向直ひずみ分布

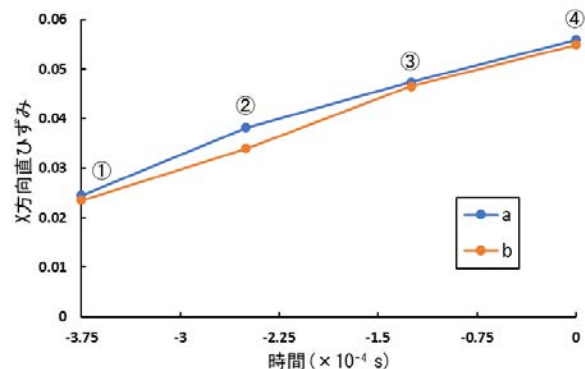


図-5 No. 2 の時間と X 方向直ひずみの関係

2) 高野大樹, 大谷順: X線CTの総論と画像解析手法, 講座 X線CTによる地盤材料の構造の可視化, 材料, Vol.62, No.10, pp.654-659, 2013.

3) Blader, J., Adair, B., Antoniou, A. : Ncorr: Open-Source 2D Digital Image Correlation Matlab Software, Experimental Mechanics, pp.1105-1122, 2015.