

室内載荷実験における削孔内でのモアレ画像の計測によるひずみの分析について

土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○岡崎健治, 川又基人, 倉橋稔幸

1. はじめに

岩盤の掘削や切土後の表面付近では、応力の解放や状態の変化、亀裂の顕在化に伴う塑性領域が発生する場合がある。その領域の拡大や外因が作用すると崩落に繋がる可能性がある。掘削面から深部方向への応力状態の変化を連続的にリアルタイムで計測することができれば、地山内の塑性領域の推定、また、崩落などによる災害の未然防止に寄与できる場合がある。これまで坂本ら¹⁾は、モルタル供試体に削孔した孔内の壁面に三軸ひずみゲージを複数枚貼り付けて載荷試験を行うことで、荷重の作用に応じた計測値の変化を捉えるとともに、三次元のFEM解析結果によるひずみの挙動と良く一致することを示している。

本稿では、モアレ画像を計測することで地山内の応力状態の変化を面的に捉える方法を開発するため、岩石ブロックの中央部に掘削した孔内にモアレ格子を印刷したシートを貼り付けて載荷実験を行い、載荷に伴うモアレ画像の変化からひずみを求めるとともに^{2, 3)}、従前から計測に用いられているひずみゲージによるひずみの計測結果との関係を分析した結果について述べる。

2. 実験概要

2. 1. 実験方法

実験では水平(X方向)と鉛直方向(Y方向)に載荷できる装置(門型フレーム式の載荷試験装置:高さ4.0m幅6.4m、最大荷重2,000KN)によって岩石ブロックに載荷した。岩石ブロックは幅高さ奥行がともに250mmの来待砂岩である。その中央部に直径50mmで削孔し、削孔面を正面として削孔内の天端部に幅70mm、長さ50mmの格子サイズが1.5mmに印刷されたシートを連続的に貼り付けた(図-1)。荷重はX方向に500KNで載荷した状態でY方向に250KN, 500KN, 750KN, 1,000KNの荷重を載荷した。各載荷時に5分間継続して荷重を作用させた。1,000KNの載荷後に同様なステップで徐荷した。この載荷を2回繰り返した(図-2)。この載荷に伴うモアレ画像を1.5m離れた位置に設置固定したカメラで1秒毎に撮影した。

2. 2. モアレ画像とひずみの計測

削孔内のモアレ画像は45度の角度を持たせた反射材を孔内に挿入し、そこに映る画像を正面から撮影した。また、モアレ画像の不動点を岩石ブロックと接触しない位置に設置して同時に撮影した。モアレ画像の計測結果から、荷重が作用した際の岩石ブロックを介したモアレ格子の変形をもとに平面状態のひずみを、モアレ格子シートに設定した2点間の距離(5mm)の変化として求めた。また、モアレ画像によるひずみはモアレ格子シートを貼り付けた範囲内であれば、任意の位置における複数箇所のひずみを求めることができる。

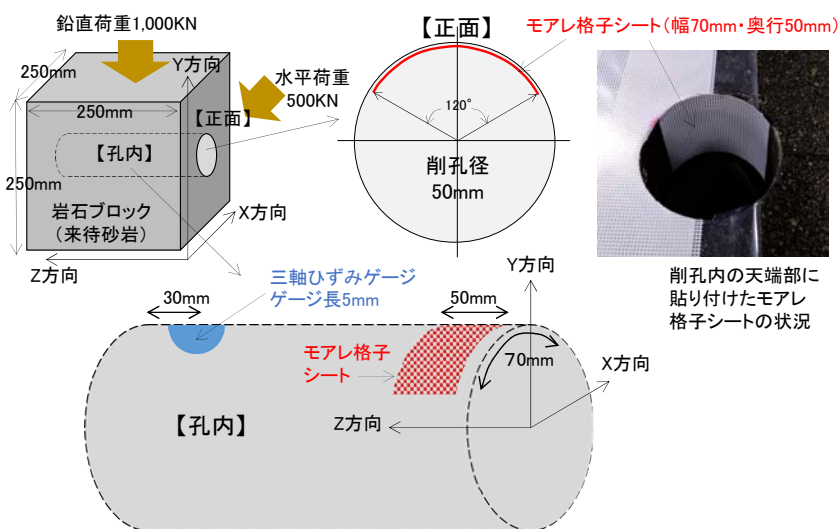


図-1 載荷試験の岩石ブロック
(ひずみゲージとモアレ格子シートの貼り付け位置)

キーワード モアレ画像, 載荷試験, ひずみ

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 TEL 011-841-1775

岩石ブロックの削孔内のひずみは、モアレ画像の計測位置から 170mm 離れた天端部に長さ 5mm の三軸ひずみゲージを貼り付けて計測した。

これらの計測結果から、载荷荷重の変化に応じた岩石自体とモアレ画像から求めたひずみとの関係を分析した。

3. 実験結果

図-2 に岩石ブロックへの荷重履歴と、削孔内で計測したひずみゲージとモアレ画像より求めたひずみを示す。ひずみの極性はプラス側が伸長を示し、マイナス側は収縮を示す。なお、モアレ画像によるひずみは、変化の差を明確にするため計測値を 5 倍にして表示した。

計測の結果、まず、ひずみゲージによるひずみは、最大値が 532μ 、最小値が $-3,330\mu$ であった。载荷開始時に水平荷重の作用によって一度マイナス側に変化するが、その後の鉛直荷重の作用によってプラス側に変化した。载荷終了時にひずみは 0 になっており、载荷荷重に応じで変化することがわかった。

次に、モアレ画像によるひずみは、最大値は $725 (3,625 \times 0.2)\mu$ 、最小値は $-156 (=780 \times 0.2)\mu$ であった。载荷開始時からプラス側に変化しており、载荷方向による違いを確認できなかったが、その後の鉛直荷重の作用に応じた変化を示した。また、载荷終了時にはひずみは 0 になった。

ここで、両ひずみの計測履歴は载荷開始から極性が異なるが、最大荷重が作用したときに、ともに最大値を示すこと、また、载荷 1 回目の後に荷重が 0 となる状況にあわせて、両計測データは一度低下し、载荷 2 回目の荷重に応じて増加することから、計測方法は異なるが、载荷した荷重による違いを計測したと考えられる。

また、両者のひずみ値を比べると、プラス側でモアレ画像の値はひずみゲージによる値の 1.4 倍程度、マイナス側でひずみゲージによる値はモアレ画像の値の 21 倍程度であった。このように、モアレ画像による値はひずみゲージの値よりもひずみレベルが小さい場合があるが、载荷荷重に応答する傾向が確認できた。

4. まとめと今後の課題

本実験の結果、以下の知見を得た。

- 1) 岩石ブロックに削孔した孔内でモアレ画像とひずみゲージによるひずみを計測した結果、载荷荷重に対応するひずみの計測結果を得た。
- 2) モアレ画像によるひずみは、ひずみゲージによる値よりもひずみレベルが小さい場合があるが、载荷荷重に対する応答を確認した。

今後は、モアレ画像によるひずみと応力の関係、また、原位置での計測や数値解析の結果と比較することで、適用条件や計測精度を明らかにしたい。

謝辞

本実験ではフジタ技術センターの二軸载荷試験装置を使用させていただいた。記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 坂本昌治, 桑原和道, 丹野剛男, 中山芳樹, 水田義明: 孔壁ひずみ法を利用した連続三次元応力測定システムの開発, 土木学会, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 425-430, 2007.
- 2) 川股重也: 変位およびひずみの測定におけるモアレ法について, 生産研究, Vol. 19, No. 3, pp. 65-74, 1967.
- 3) 森本吉春, 藤垣元治, 梶谷明大: サンプルングモアレ法による変位・ひずみ分布計測, Journal of the Vacuum Society of Japan, Vol. 54, No. 1, pp. 32-38, 2011.

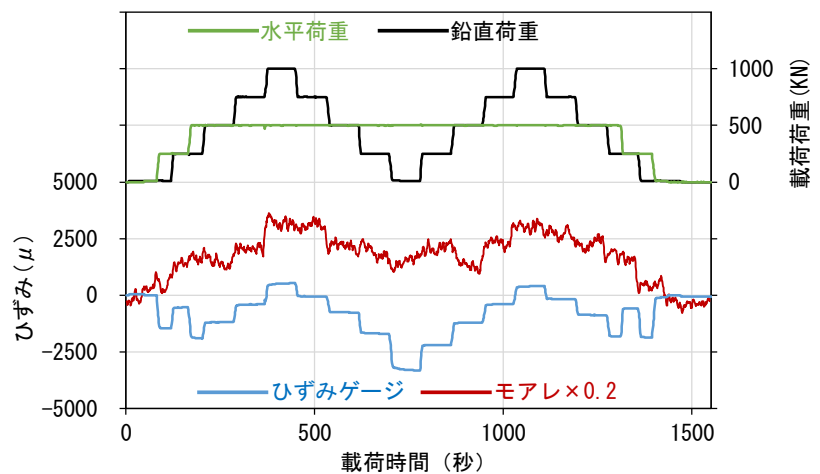


図-2 载荷試験時の荷重履歴と削孔内のひずみ計測結果