

岩石ブロック載荷試験による初期応力測定装置の精度検証

フジタ 正会員 ○池田奈央, 村山秀幸, 荒井靖仁

北海道大学 松川尚道, 福田大祐, 児玉淳一

エーティック 釣賀雅人, 中村健太

1. はじめに

近年, 山岳トンネルの設計に FEM (Finite Element Method) 等の数値解析を用いることが多く, その結果はトンネル周辺の応力状態に大きく依存することが知られている. しかし, 実際に周辺岩盤の初期応力を測定しトンネル設計に適用した事例は少ない. 筆者らは山岳トンネルの合理的な設計を目指し, 現場での初期応力測定と数値解析に関する研究を進めている¹⁾. 本稿では, 筆者らが開発中の初期応力測定装置 (図-1) の精度検証として, 岩石ブロックを用いた載荷実験を実施し, 測定値を理論解と比較した結果を報告する.

2. 岩石ブロックを用いた載荷実験

2-1 初期応力測定装置

開発中の初期応力測定装置は孔径変化法¹⁾²⁾に基づいて設計されており, 円孔に挿入した状態で孔壁を変形させると各成分の変位を取得する. 図-2 中の ch.1~ch.4 は, 向かい合うセンサの相対変位から孔壁周方向の変位を測定し, ch.5~ch.8 は, 固定部と可動部の相対変位から孔壁軸方向の変位を測定する. 本装置において, 軸センサの固定部と可動部の距離 $l=170\text{ mm}$ である. 測定した変位は, 連続体に対する変位-ひずみ関係式を用いてひずみ成分に変換した後, ひずみ成分と岩石ブロックの弾性マトリックスから応力に変換する.

2-2 岩石ブロック載荷実験の概要

実験は Ghimire et al.²⁾を参考として行い, 供試体は寸法 $500\times 500\times 500\text{ mm}$ の来待砂岩ブロックを用いた. 供試体中央には直径 $d=40\text{ mm}$ の貫通円孔を設けた. 円孔に応力測定装置を挿入した状態で, 供試体 x 方向の正の面, y 方向の負の面からそれぞれ垂直に荷重を与えた. 荷重の制御には油圧ジャッキを使用し, 水平荷重 σ_y を 2.0 MPa に保った状態で, 鉛直荷重 σ_x を 0.04 MPa から 4.0 MPa に増加させた (図-3). また, 供試体 x 方向の負の面, y 方向の正の面に摩擦低減のためのテフロンシートを挿入し, 面に垂直な方向のみを拘束した (図-4). z 方向の正・負の面は自由面とした. 実験は, 応力測定装置の ch.1 と ch.5 を天頂とする試験 1 (図-5) と, 装置を 45 度回転させ ch.2 を天頂とする試験 2 で, 各試験 2 回ずつ合計 4 回行った.

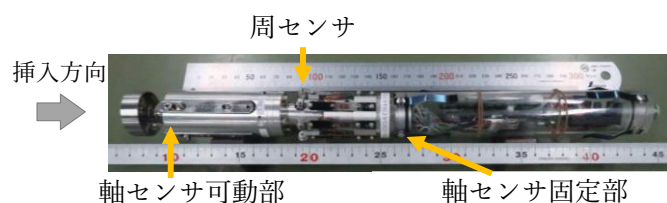


図-1 初期応力測定装置

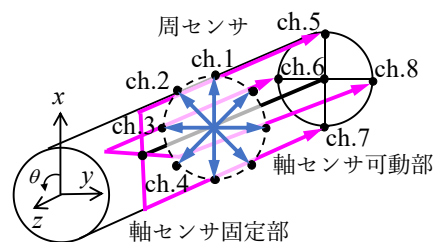


図-2 計測センサ位置と各成分

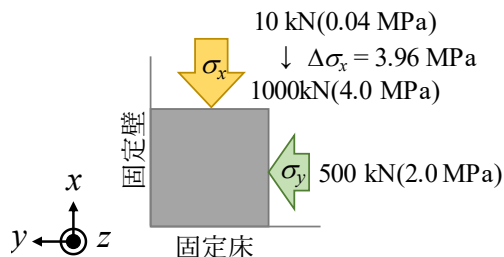


図-3 載荷試験条件

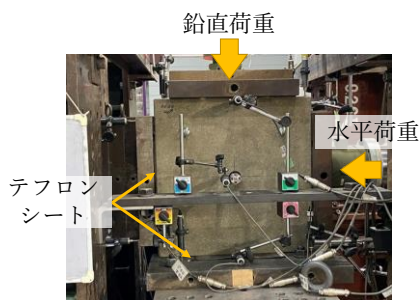


図-4 載荷試験状況

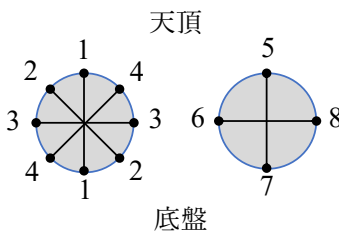


図-5 初期応力測定装置挿入方向 (試験 1)

キーワード 山岳トンネルの設計, 初期応力測定, 孔径変化法

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株)フジタ 技術センター TEL:046-250-7095

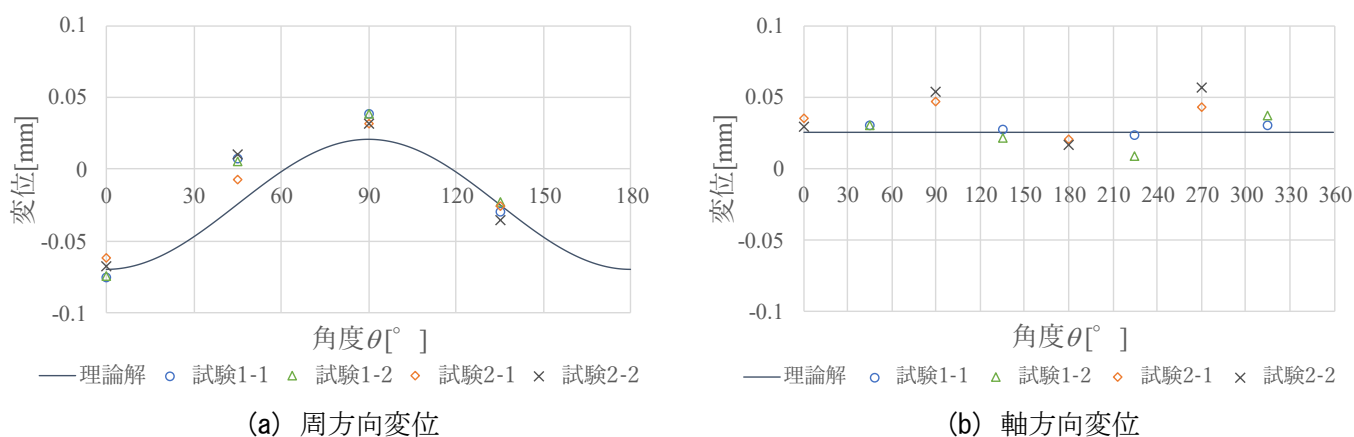


図-6 孔径変位の計測値と理論値(伸長が正)

3. Fairhurst の理論解

初期応力測定装置の精度検証には、Fairhurst³⁾により導出された『無限の大きさを持つ等方の線形弾性体に、無限遠方から所定の応力を作用させ、そこに無限の長さの円孔を導入することにより生じる変位の理論解(以下、Fairhurst 解)』を用いた。Fairhurst 解と、本実験を模した三次元 FEM 解析解との間に有意な差がないことは確認済みであり、今後、別途報告する予定である。

4. 実験結果と理論解との比較

図-6 に、Fairhurst 解から求めた孔壁変位と応力測定装置による測定値を示す。理論値と測定値の計算に用いた砂岩ブロックの物性値は、両者の誤差が最も小さくなるようにパラメトリックスタディを行い、ヤング率 $E = 6.5 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.25$ とした。

図-6 より、各実験の測定値はばらつきが少なく、再現性がある測定ができていることがわかる。また、変位の正負や相対的な大きさが理論解と測定値でほぼ一致しており、合理的な測定結果が得られていると言える。一方、今回の载荷条件では、 $\theta = 45^\circ$ 、 135° の周方向変位が理論的には同値になるが、測定値は同値とはなっていない。同様に、理論的には全ての角度で同値になる軸方向変位についても各 ch.で測定値にばらつきがみられ、ch.間の変位の最大差は 0.04 mm 程度となっている。すなわち、測定値は定性的に理論解と一致するものの定量的には差異がある結果となっている。

既往の検討りでは、土被り 100 m での初期応力測定を想定した場合、測定装置の要求精度を 0.01 mm として設計を行っている。今回の実験では、変位の理論値と測定値の最大差が周方向では 0.02 mm 程度、軸方向では 0.03 mm 程度となっていることから、要求精度は満たしておらず、今後の改良が望まれる。

5. まとめと今後の展望

開発中の初期応力測定装置について、砂岩ブロックを用いた载荷実験を行い理論解と測定値を比較した。その結果、定量的評価が課題となったが、測定結果に再現性があり、定性的には理論値と良く一致した。今回の実験で測定値と理論値に差異が発生する要因は、供試体の異方性、繰返し载荷に伴う供試体の劣化、载荷装置や供試体载荷面のゆがみによる偏圧の発生など、装置の精度以外にもいくつか想定される。よって、今後は初期応力測定装置の精度向上に加え、他の要因についても整理、検証が必要と考えている。

参考文献

- 1) 池田奈央他：岩盤の初期応力測定における計測孔壁の挙動予測解析について、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、III-223、2020.9
- 2) Ghimire H. et al. : Development of Stress Measuring System by Overcoring Method Suitable for Soft Rocks, 資源と素材, Vol.120, pp.32-38, 2004
- 3) Fairhurst C: In-situ Stress Determination - an Appraisal of Its Significance In Rock Mechanics. ISRM International Symposium, 1986, ISRM-IS-1986-001