

大空洞掘削工事への適用に向けた光ファイバ式岩盤変位計測技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○村上和哉 黒川紗季 野中隼人 宮嶋保幸 今井道男

1. はじめに

地下大空洞の掘削工事において空洞の安定性を確保するためには、掘削に伴い空洞周辺に形成されるゆるみの程度や範囲を把握し、適切な支保設計を行うことが不可欠である。一方で、事前の地質調査と予測解析のみでは詳細なゆるみ領域を予測することは困難である。そのため、施工中においても計測や観察から空洞および地山の挙動を逐一把握し、設計・施工にフィードバックする情報化設計施工により工事が進められる¹⁾。

従来の地下大空洞工事では、施工中のモニタリングとしてワイヤ式岩盤変位計が多用されてきたが、より詳細に岩盤挙動を把握することを目的に、光ファイバを用いた新たな岩盤変位計測技術の開発を進めている。本稿では、大空洞掘削工事への適用を見据え、岩盤亀裂を模擬した室内試験により光ファイバセンシング技術の適用性を検討したので報告する。

2. 大空洞掘削工事における光ファイバ式岩盤変位計測技術

岩盤のゆるみ領域は、空洞の掘削に伴う空洞周辺岩盤における新しい亀裂の形成もしくは、既存の微小亀裂の開口・進展により形成される。従来のワイヤ式岩盤変位計は深度方向に複数点のアンカーを設け、ワイヤを通じて壁面の電気信号変換部で変位を検知するポイント型計器であり、深度方向にゆるみ領域の形成範囲を詳細に把握することは困難であった。これに対し、光ファイバによるひずみ計測はケーブル沿い全長でデータ取得が可能であり、ゆるみ領域の進展をより詳細に評価できることが期待される(図-1)。さらに、ゆるみ領域形成の原因である亀裂の、開口位置および開口量を検知できることも考えられる。

光ファイバを用いた岩盤変位計測技術は、これまでにダムグラウト時の岩盤挙動計測を目的として実証した事例²⁾があり、ここで確認した局所的な変位量は最大で0.05mm程度であった。一方、地下発電所の掘削工事において亀裂の開口量を評価した事例では、掘削に伴い1~2mm程度の亀裂の開口が確認されている³⁾。そこで、1~2mmの亀裂開口を模擬した室内試験を実施することで、光ファイバ計測技術の亀裂の開口発生位置やその規模の評価への適用性を検証した。

3. 室内試験概要

試験体概要を図-2に示す。岩盤を模擬した高強度コンクリートブロックを3つ連結させ、供試体断面の中央にφ75mmのボアホールを模擬した孔を設け、光ファイバケーブル(以下、光ケーブル)を設置した。ここで、使用した光ケーブルは既往の基礎試験からコンクリートひずみへの追従性が高いものを選定し⁴⁾、また、光ケーブルとコンクリートブロックを一体化させる充填材はノンブリージングが期待されるPCグラウト材を使用した。ブロックの継ぎ目2か所を亀裂位置とし、亀裂開口を模擬した際の光ファイバ計測による変位量と、試験体端部に設置した変位計の値を比較し、光ファイバ計測の精度を検証した。

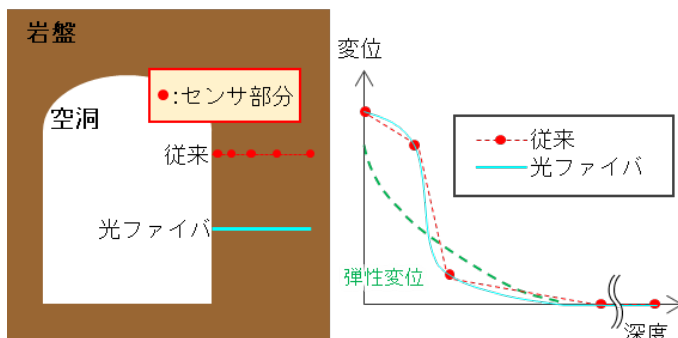


図-1 ワイヤ式岩盤変位計と光ファイバ式岩盤変位計

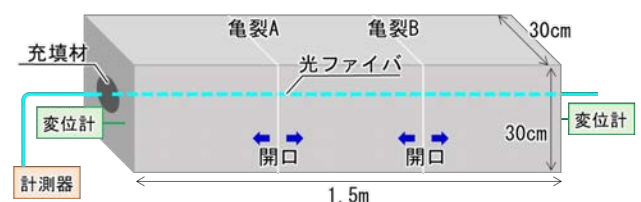


図-2 試験体概要

キーワード：大空洞、情報化設計施工、ゆるみ領域、モニタリング、光ファイバ、変位計測

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

4. 室内試験結果

コンクリートブロックにL字型のプレートを設置し、このプレートを介してブロック間をボルトでつなぎ、ボルトを回すことで2か所の亀裂を開口させた（写真-1）。開口ステップは図-3に示す通りで、step30において各亀裂1mmずつ、その後亀裂の閉口・開口を繰り返す、最終ステップでは各亀裂2.5mmずつ合計5mmと、既往の研究で確認されている亀裂変位量と同等以上の1~2mmの変位を発生させた。また、亀裂の開口と閉口を繰り返すことで、両者における光ケーブルのひずみ追従性および計測精度を検証した。ここで、光ファイバの計測設定について、データ間隔は5cm、分解能は20cmとして計測を実施した。

計測結果のうち、step12（亀裂Aのみ0.2mm開口）、step30（亀裂AおよびBで1mmずつ開口）およびstep43（亀裂AおよびBで2.5mmずつ開口）のひずみ分布計測結果を図-4に示す。亀裂位置で明確なひずみが発生し、またひずみ量も開口量に比例して増大することが確認された。また、ひずみの換算式（ $\epsilon = \Delta l / l$ ）をもとに算定した各ステップにおける変位量と、変位計で計測した変位量を比較した結果を図-5に示す。両者の結果はよく整合し、光ファイバの計測精度および光ケーブルと選定した充填材の追従性が良好であることが確認された。

5. おわりに

今回実施した室内試験を通して、地下大空洞の掘削工事で想定される1~2mmの局所変位を光ファイバにより高精度に計測でき、また、ひずみ分布から亀裂開口の発生位置やその規模を特定できることが確認された。今後は、実際の岩盤に対し光ケーブルを上向きに設置する方法などについて検討を行い、地下空洞掘削工事へのさらなる適用性検証を進める。

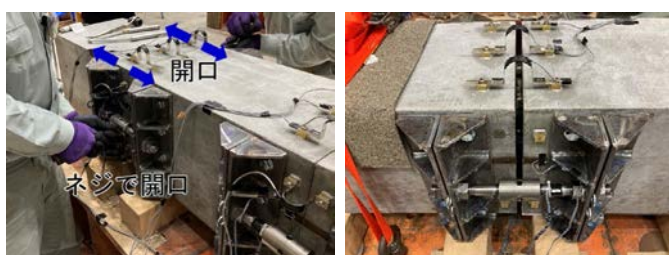


写真-1 亀裂開口状況

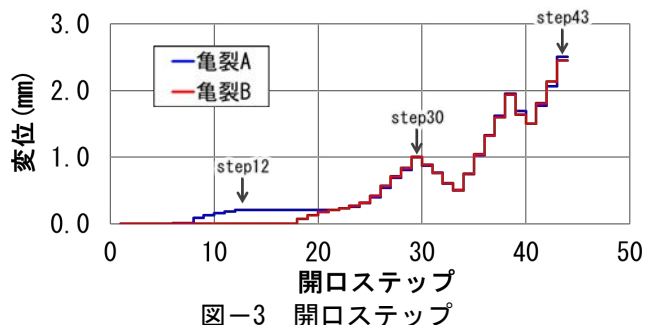


図-3 開口ステップ

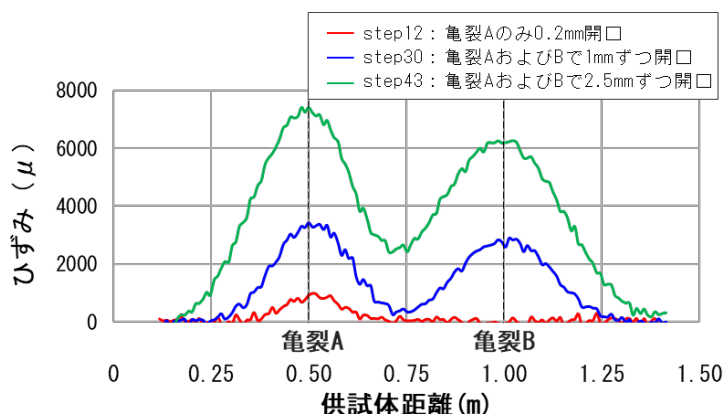


図-4 ひずみ分布計測結果

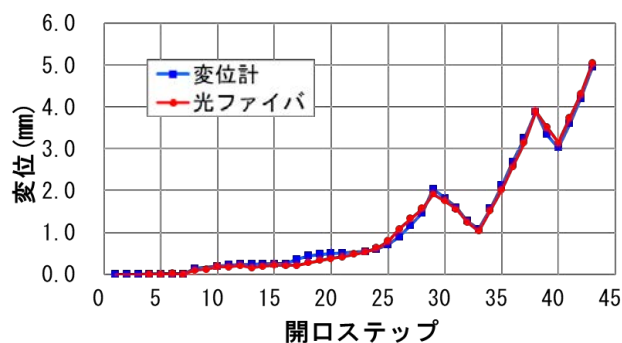


図-5 変位計と光ファイバ計測の比較

参考文献

- 1) 地盤工学会, 岩盤構造物の情報化設計施工, pp.69-71, 2003.
- 2) 黒川他, 光ファイバを用いたライフサイクル性能評価のうちダム基礎処理工における岩盤挙動計測技術の開発, 第15回岩の力学国内シンポジウム, 2020.
- 3) 森孝之, 岩盤地下空洞における掘削影響領域の評価技術に関する研究, 京都大学大学院博士論文, 2003.
- 4) 黒川他, 光ファイバによるトンネル支保の応力計測に関する検討, 第75回年次学術講演会概要集, 2020.