

光ファイバによるダム基礎処理工における施工管理法の高度化

鹿島建設(株) 正会員 ○小原隆志 小泉 悠 黒川紗季 今井道男
奈須野恭伸 松本信也 升元一彦 川端淳一

1. はじめに

ダム工事では、堤体下における岩盤の亀裂に対してセメントミルクを注入し、岩盤の止水性を向上させる基礎処理工が施工される。しかしながら、注入圧力の選定など、適正な施工管理が行われない場合には、注入の形態は浸透型から割裂型へと変化し、亀裂の拡大（以下、目開きと呼ぶ）により止水性の確保が困難となる。目開きを計測する従来技術として、岩盤変位計が挙げられるが、計測されるのは2点間の累積変位であり、目開きの発生箇所が特定できないという課題があった。そこで、光ファイバによる分布型ひずみ計測技術¹⁾に着目した。本計測技術では、光ファイバ中を伝搬する光の散乱光を解析することで、センサケーブル沿いのひずみ分布が計測できる。目開きによるひずみの計測適用性を検討し、ダム現場に導入してその有効性を検証したので、ここに報告する。

2. 注入に伴う目開きの計測コンセプト

注入に伴う目開きを計測するため、図-1に示すように、注入孔の下流側に計測孔を削孔し、光ファイバケーブルを設置した後、充填材によって岩盤と一体化させることとした。限界圧力を超える過大な圧力で注入が行われた場合、岩盤が目開きし、これに伴って充填材が引張破壊する。そこで、光ファイバケーブル、光ファイバ素線へと伝播する引張ひずみを計測できると考えた。

3. 室内での目開きひずみの計測試験

前述した計測コンセプトの有効性の検証をする上で、充填材～光ファイバケーブル～光ファイバ素線間の引張ひずみの追従性を確認する必要があると考え、目開き計測の室内模擬試験を実施した。製作した試験装置および試験状況を写真-1に示す。計測孔を模擬した塩ビ管（外径 65mm）に光ファイバケーブル（写真-2）を設置し、セメントベントナイトで充填した。充填材の要求仕様として、岩盤の目開きを拘束しない程度に低強度である必要があると考えられた。強度試験およびブリージング試験により配合を勘案し、セメント量 540kg/m^3 のセメントベントナイトとした。上下パーツを強制的に分離することで目開きを再現し、得られた光ファイバのひずみ分布を図-2に示す。このひずみ分布を距離で積分することで得られた目開き変位は 0.018mm であり、ダイヤルゲージで直接計測した 0.020mm とよく整合した。複数の計測結果からも同様の整合が得られており、充填材～光ファイバケーブル～光ファイバ素線間の良

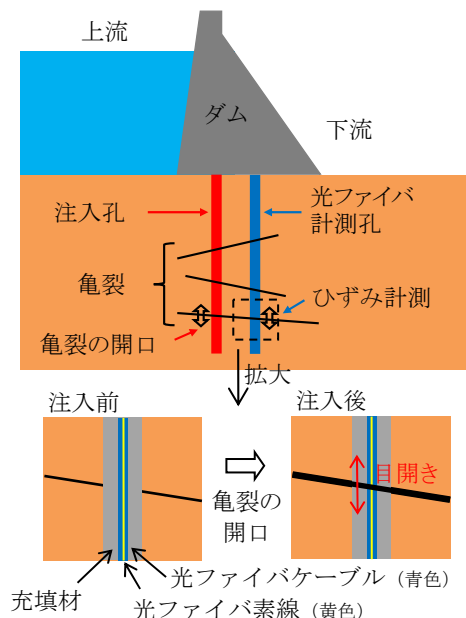


図-1 注入に伴う目開き計測のコンセプト

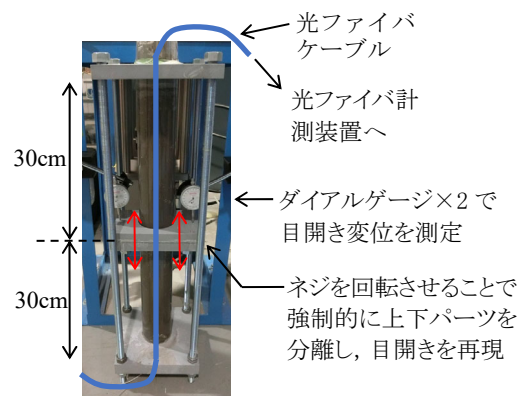


写真-1 目開きを模擬した室内試験状況

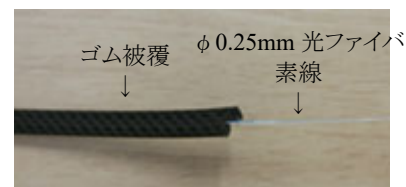


写真-2 使用した光ファイバケーブル

キーワード：光ファイバ、ひずみ計測、ダム、注入、亀裂、目開き

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島技術研究所 岩盤・地下水 Gr. TEL 042-489-6646

好な引張りひずみ追従性がから確認された。なお、ここで例示した目開き試験は、セメントベントナイトの打設翌日に実施し、セメントベントナイトの一軸圧縮強さ（材齢 1 日）は 1.0N/mm^2 であった。

4. ダム現場での注入に伴う目開きひずみの計測試験

建設中のダム現場のカーテングラウチングの施工に合わせ、左岸側で 115m、右岸側で 70m の 2 本の光ファイバ計測孔を削孔し、本技術の現場適用試験を行った。計測孔は、注入孔から下流側へ 50cm 離れた位置に、注入孔と同深度まで外径 $\phi 46\text{mm}$ のビットで削孔した。光ファイバケーブルは、前述した室内試験で使用したケーブルを用い、地下水により浮き上がることをないように先端に錘を取り付けた（写真-3）。光ケーブルに過大な引張りひずみが発生しないよう、錘をポリエチレンライン（PE ライン）で吊り下げながら、光ファイバケーブルおよび充填用ホースを沈降させた（写真-4）。沈降後、錘は孔底に残置し、充填用ホースを引き揚げながら、前述した室内試験と同配合のセメントベントナイトを充填した。充填中、光ファイバケーブルを用いて連続計測を行ったところ、セメントベントナイトの液面上昇をリアルタイムに捉えることができた。ボーリング孔内が確実に充填され、岩盤～充填材～光ファイバケーブルが一体化された。

計測パラメータは、計測距離間隔 5cm、分解能 10cm、計測時間間隔 1 分とし、連続計測を行った。注水およびセメントミルク注入時のひずみに関し、計測結果の一例を図-3 に示す。同図に示すように、注水および注入を行ったステージと同深度で、引張りおよび圧縮のひずみが計測された。なお、ひずみが検出された深度では、事前に実施した BTV において開口亀裂

（図-3）が観察されており、この亀裂が開口した可能性が考えられた。一方、計測されたひずみの値は、ここで例示した計測結果以外を含めても最大 10μ 程度であった。仮に 10μ のひずみが 1m にわたって計測されたとしても、その目開き変位は 0.01mm と算定される。本現場の管理基準値 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ の $1/10$ 以下であり、岩盤の止水性に悪影響を及ぼすような目開きを発生させることなく、注入が実施されたことが示された。

5. まとめ

ダムの基礎処理工において、目開きの発生位置まで特定できるよう、施工管理法を高度化することを目的に、光ファイバによる分布型ひずみ計測技術の適用性を室内および現場試験により検証した。その結果、適用対象としたダム現場においては、止水性に悪影響を及ぼすような目開きを発生させることなく、注入が実施されたことを捉えられた。本手法を現場展開すべく、実装・計測に関してさらなる改善を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 光防災センシング振興協会：光ファイバセンサ入門，p.293，2012.

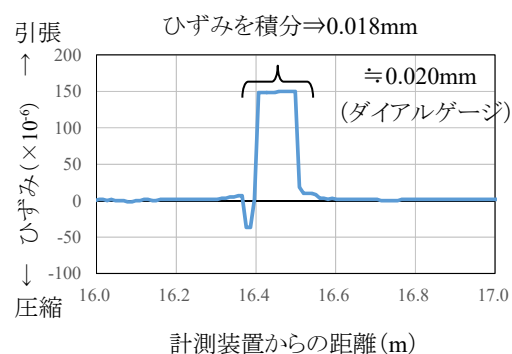


図-2 目開き位置での引張りひずみ分布

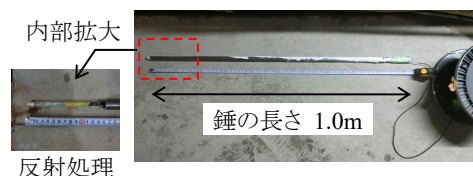


写真-3 沈降させた光ファイバケーブルの先端錘部

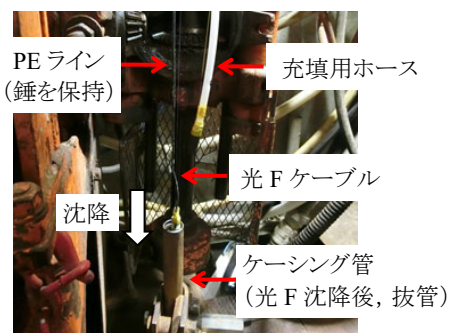


写真-4 光ファイバケーブルおよび充填用ホースの沈降状況

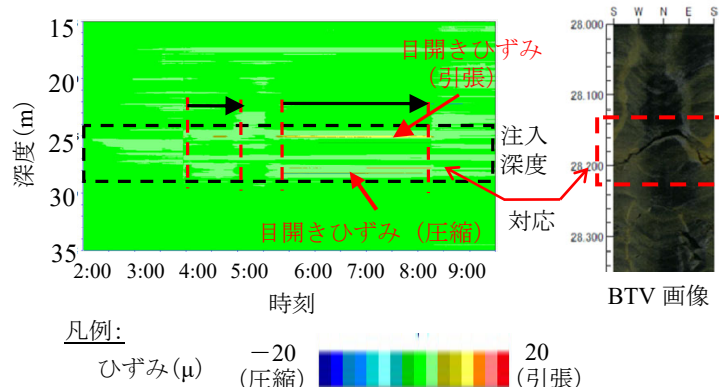


図-3 目開きひずみの計測結果の一例（右岸 6st）