

BOTDR を利用した光ファイバ水位計の開発（その2）

NTT アクセスサービスシステム研究所 ○正会員 藤橋 一彦
 同上 正会員 奥津 大
 独立行政法人 土木研究所 正会員 加藤 俊二
 東北通信建設株式会社 金野 和也

1. はじめに

膨大な数にのぼる道路斜面において、地滑り等の地盤崩壊を予測し警報を発するための監視・観測の強化が課題になっている。そこで、NTT グループ等と土木研究所では、従来の電気式計測システムの抱える諸問題の解決を目指し、光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリングに関する共同研究を行ってきた¹⁾。モニタリングシステムを構成する要素には、伸縮計、地中変位計、傾斜計、地下水位計などが挙げられるが、本稿では、光ファイバ水位計の開発について、昨年引き続き改良を行ってきたので、その概要を紹介する。

2. 光ファイバ水位計の概要

光ファイバを利用してひずみ計測する方法にはいくつか方式があるが、ブリルアン散乱光を測定解析する BOTDR を利用したセンサ構造とした。基本構造は図.1 に示すとおり二重管構造で、内管にはゴムを使用しそこに光ファイバを巻きつけたものである。水位変化と共に内管が変形し、これに伴う光ファイバのひずみ変化を計測することで、水位を間接的に測定する。試作品の概観と寸法を図.2 示す。 $\phi 76\text{mm}$ 、質量 2.9kg とコンパクトな構造となっている。

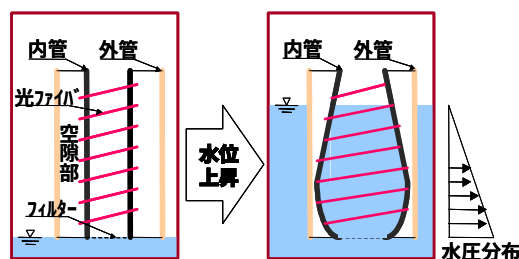


図. 1 水位測定原理

3. 開発目標

この光ファイバ水位計の開発目標は、地滑り安定解析に影響する水位変化高が 10cm 単位であることから、目標精度をフルスケールで $\pm 5\text{cm}$ に設定している。昨年度は試作品を作成し検証実験を行ったが計測誤差は $\pm 12\text{cm}$ であった²⁾ので、引き続き精度向上を目指し検討を行った。

4. 光ファイバ水位計の評価実験

(1) 新型 BOTDR による精度の評価

昨年に旧型機に比べて高精度で低価格な新型 BOTDR を開発した。この新型 BOTDR は表.1 に示すように旧型に比べ測定精度が 30μ と約 3 倍の向上が図られており、データの安定性も向上している。この新型機を用いて光ファイバ水位計の精度を評価した。結果を表.2 に示す。精度は BOTDR に起因する誤差と、光ファイバ水位計に起因する誤差を足したもので表している。BOTDR に起因する誤差が $\pm 2\text{cm}$ に軽減されたことから精度が $\pm 8\text{cm}$ に向上した。しかし、水位の算出方法は従来通りであるため、光ファイバ水位計に起因する誤差は $\pm 6\text{cm}$ と変わらなかった。

(2) 計測データの再評価

図.3 は、BOTDR の差分データであり、光ファイバのひずみ

Key Word：斜面崩壊、光ファイバセンサ、水位計、BOTDR

連絡先：〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 Tel. 0298-68-6241

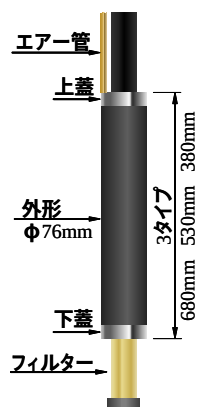


図. 2 水位計概観

表. 1 新型 BOTDR

評価項目	旧型	新型
精度	0.01%	旧型の3倍向上(0.003%)
測定時間	数分~数十分	旧型の約1/2
測定可能距離	約10km	旧型と同等



分布を表している。従来は、センサ区間の1点に着目し、そのひずみの変化から水位を算出していた。しかし、較正係数にバラツキがあり計測誤差を生じる一因であった。そこで、連続するひずみ分布から区間を選定し、その区間の平均値に着目し較正係数を算定することとした。巻きつけ端部の影響の無い中間の区間を選定することにより、光ファイバ水位計に起因する誤差が±3cm、推定精度が±5cmとなり目標精度が実現した。

(3)光ファイバ水位計の温度特性

水温変化により、1度当たり0.0004%ひずみ量が変化する。水位に換算すると1度当たり2mm程度である。地下水の温度変動幅は3度程度（誤差は6mm）であり³⁾、地下水の温度変化による影響は少ないと考えられる。

(4) 光ファイバ水位計の測定範囲

図.4は、BOTDRの測定限界までの水位とひずみの関係を示している。BOTDRのひずみ測定限界の範囲で、光ファイバが破断することなく直線性が保たれている。地下水位の変動量は、殆どの地域で5m以下であることから、光ファイバ水位計で地下水位が測定可能と判断できる。

(5) 現場計測

試作品を用いて実際の地下水の計測を研究所敷地内で行っている。図.5に示すように、95%のデータが±5cm以内の誤差に収まっており、地下水位の変動に追従し計測されている。なお誤差5cm以上のデータは低水位時である。

光ファイバ水位計の精度向上を目指し、新型BOTDRを用いた評価と水位算出方法の見直しを行った結果、目標精度の測定誤差±5cmが実現できた。

現場計測を継続し、耐久性・安定性の検証を引き続き行う予定である。

6.参考文献

- 1) 山邊、恒岡、中野：光ファイバセンサを活用した斜面の表層崩壊モニタリングシステムに関するフィールド試験、土木学会第56回年次学術講演会（Ⅲ-A342）
- 2) 藤橋、恒岡ら：B-OTDRを利用した光ファイバ水位計の開発、土木学会第56回年次学術講演会（Ⅲ-A339）
- 3) 建設産業調査会：地下水ハンドブック

表. 2 新旧 BOTDR の比較 (単位:cm)

BOTDR	BOTDRの特性に起因する誤差	光ファイバ水位計の特性に起因する誤差	推定精度
旧型	±6	±6	±12
新型	±2	±6(ポイントデータ)	±8
新型	±2	±3(平均値データ)	±5

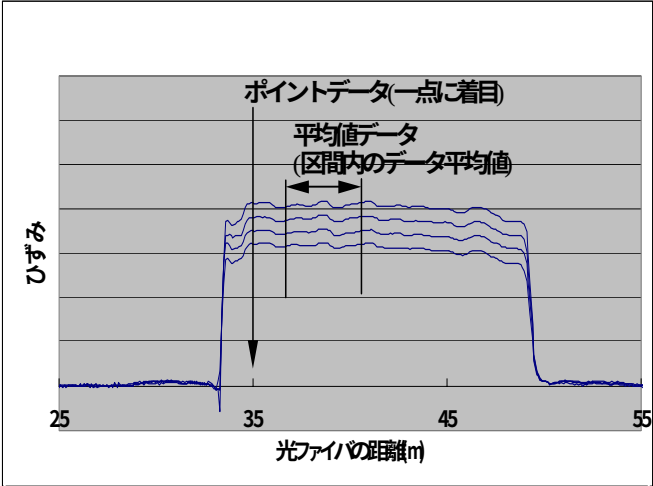


図. 3 計測されたひずみ分布と較正係数算出用データ

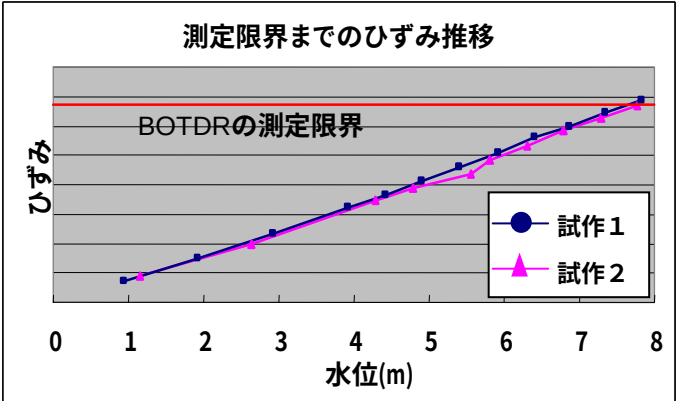


図. 4 測定限界までのひずみと水位の関係

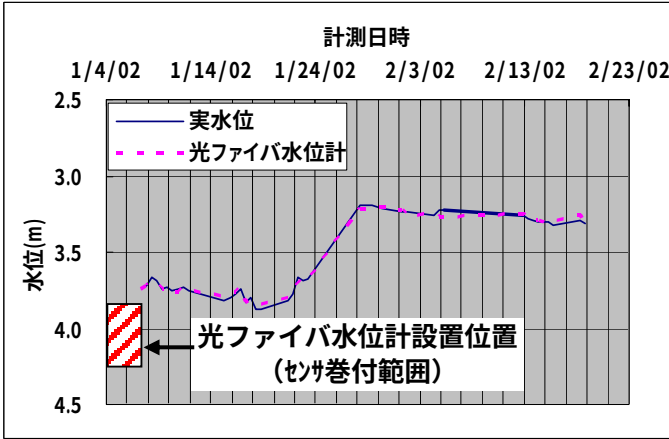


図. 5 実地下水位と計測水位との比較（研究所敷地内）