# 光ファイバを用いた凍土モニタリング技術の検証

鹿島建設(株) 正会員 ○佐藤一成 辻 良祐 吉田 輝 永谷英基 那須郁香 今井道男 川端淳一 ケミカルグラウト(株) 正会員 相馬 啓 塩屋祐太 佐野夕薫

## 1. はじめに

地盤凍結工法では地中温度や地中変位の計測は凍土 造成管理において必須である.従来,その計測には白金 温度計や傾斜計などが採用されてきたが,大規模な凍 土を造成した場合,計測点数が増加し計測設備の肥大 を招いてきた.その問題点を解消するため,筆者らはケ ーブルそのものがセンサとなる光ファイバを使用し, 地中温度および地中水平変位を1本のケーブルで同時 計測する技術を検討している.本稿ではその検証実験 の結果を報告する.

#### 2. 光ファイバの計測方法

光ファイバセンサは計測方式の違いにより表-1 に 示す3つの計測方法<sup>1)</sup>に分類される.温度計測ではラマ ン方式が広く利用されており,福島第一原子力発電所 の凍土方式遮水壁<sup>2)</sup>で地中温度を計測している実績が ある.しかし,ラマン方式は温度変化のみをとらえるも ので,ひずみを計測できない.ブリルアン方式は,理論 的にはひずみ・温度を同時に計測可能だが,精度の問題 で実用化には至っていない.レイリー方式は高精度か つ高分解能なひずみ計測が可能で,この方式を用いた ひずみ計測結果から変位計測が可能であることが既往 の研究で報告されており<sup>3)</sup>,温度に関しても計測可能で あることを確認している<sup>1)</sup>.本報文では,原位置凍結実 験を実施し,レイリー方式でのひずみ・温度の同時計測 について検討した結果を報告する.

#### 3. 原位置凍結実験4)

#### (1)実験レイアウト

原位置凍結実験<sup>4)</sup>の実験レイアウトを図-1,現地の ボーリング柱状図を図-2に示す.凍結範囲はGL-10m ~-20m とした.光ファイバはK-1 (二軸式傾斜計), S-2 (測温管)に併設し,それぞれ地中温度および地 中水平変位の結果を比較した.

凍結管は 1m 間隔で 3 本,一列に配置し,壁状に凍 土を造成した.測温管には,深度 2m おきに電気式温 度計(白金抵抗素子)を配置している.地中水平変

表-1 計測方法<sup>1)</sup>

	ラマン	ブリルアン	レイリー
要因	分子振動	分子振動 による音響波	粒子による光の散乱
原理	散乱光の強度が温 度に依存	散乱光の波長がひ ずみと温度に依存	散乱光の強度が密度な どに依存
計測物理量	温度変化	ひずみ変化 (温度変化)	ひずみ変化 (温度変化)
特徴	<ul> <li>         散乱光強度の相対 的な変化から温度 変化算出     </li> <li>         ひずみ影響を受け ない     </li> </ul>	散乱光の波長(絶対 量)からひずみ変化 を算出 温度影響を受ける	散乱光強度の相対的な 変化からひずみ変化算 出 温度影響を受ける
使用ファイバ	主に MMF	主に SMF	主に SMF
計測方式例 (接続)	ROTDR(片端)	BOTDR(片端) BOTDA(両端) BOCDA(両端)	COTDR(片端) OFDR(片端)
0.5m 0.5m 0.5m 0.5m 0.5m 光ファイバ併設(鉛直) * * * * * * * * * * * * * * * * * * *			
0.5m S-4 S	215-11	ν <u> <u> </u> </u>	凍結範囲





キーワード:地中変位,凍土,モニタリング,光ファイバセンサ,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 TEL 042-489-6465 位は,深度 2m 間隔に設置した二軸式傾斜計を用い, 深度 26m 地点を仮想不動点として計測した.

温度計測用の光ファイバの外観を写真-1,構造を 図-3,地中水平変位計測用の光ファイバの外観を写 真-2,断面構造を図-4に示す.

(2) 実験結果

図-5に地中温度の計測結果を示す. 光ファイバの 計測結果は白金抵抗素子の結果と概ね一致することを 確認した.また,図-6に示すように,白金抵抗素子 の計測結果を基準とした場合,光ファイバの計測結果 はおおよそ±1.0℃の範囲で収まっている.以上のこ とから,光ファイバは白金抵抗素子と同精度で計測可 能と考えられる.

図-7 に地中水平変位の計測結果を示す.凍結範囲 に注目すると,光ファイバの計測結果は凍結膨張によ る地中変位が増大する傾向をとらえている.しかし, 計測された値は二軸傾斜計と比較し最大で10mm ほど 差があった.原因としてガイド管と光ファイバの接着 方法や,傾斜計の測定ピッチによる誤差の影響である ものと考えられる.

### 4. まとめ

原位置凍結実験にて、従来技術とレイリー方式によ る光ファイバの計測精度に関して、比較検証を行った. その結果、地中温度についてはレイリー方式で従来技 術と同等の精度が確認できた.地中水平変位について は従来技術と最大で10mm 程度の差があり、改善点が明 らかになった.今後も、凍土モニタリング技術の合理化 に向けて光ファイバによる地中温度及び地中変位の同 時計測技術の開発を進める予定である.

#### 参考文献

- (2) 笹倉剛,今井道男,久保田光太郎,辻良祐,永谷英基, 小柳津悠:高精度光ファイバセンサを用いたひずみ・変 位計測の検証実験,土木学会第75回年次学術講演会, 2020.(投稿中)
- 永谷英基、山口功、吉田輝:凍土方式遮水壁の光ファ イバ式温度計による地中温度計測-凍土方式による遮水 技術に関するフィージビリティ・スタディ事業(その 6)-、土木学会第70回年次学術講演会、III-270、539-540、2015.
- 今井道男,一宮利通,露木健一郎,早坂洋太,太田伸之: 光ファイバセンサによる 10 年間の PC 橋梁ひび割れモ ニタリング,土木学会論文集 A1, 75(1), 17-25, 2019.
- 4) 那須郁香,吉田輝,辻良祐,相馬啓,塩屋祐太,佐野夕 薫:ICECREATE 工法を用いた実大実験による凍土厚保 制御手法の検証,第75回地盤工学講演会,2020.(投稿 中)







図-7 地中水平変位計測結果