

光ファイバ分布計測技術を用いたグラウト充填のリアルタイム計測

ニュープレクス（株） フェロー ○三輪滋 正会員 小久保達生 岸田欣増 山内良昭
五洋建設（株） 非会員 鍛冶谷口勉 高島直己

1. はじめに

土木・建築の現場施工においてグラウト充填を行う場合、グラウト充填後にその品質を確認する検査技術は従来から用いられてきたが、今後、より一層の品質の確保・向上のためには、グラウト充填作業中における充填状況についても、リアルタイムで確認する手段や技術が求められることが想定される。

計測手法のひとつである光ファイバを用いた分布計測（DFOS: Distributed Fiber Optic Sensing）は、光ファイバそのものをセンサとして計測対象に設置し、光ファイバ全長において発生する温度やひずみなどの物理現象を、1回の計測で網羅的かつ連続的な分布として計測できる技術であり¹⁾、その特長を生かし、土木インフラの施工管理や維持管理などを合理化し、人口減少社会やインフラの老朽化などの社会問題を解決する手段として注目が集まっている。

現場におけるグラウト充填工施工の際に、充填不良の有無と発生場所および規模などをリアルタイムで検出することを目的に、試行的に DFOS を用いて、グラウト液面位置を検出する計測(以下、グラウト充填計測)を行い、グラウト充填状況をリアルタイムに確認しながら施工を実施した。本稿ではその事例について報告する。

2. DFOS 技術および光ファイバセンサケーブル

光ファイバ内に光を入射すると、そのうちの一部は後方散乱光として、入射端に帰還する。散乱光はすべての箇所が発生し、光ファイバに沿ったすべての箇所での温度やひずみに関する情報が得られる。そのため、ボーリング孔内へ光ファイバを設置すれば、深度ごとに温度やひずみ変化を把握できる¹⁾。今回の計測では、DFOS 技術の一つである TW-COTDR¹⁾を採用した。TW-COTDR は、ひずみ計測精度 $1\mu\epsilon$ 以下、温度計測精度 0.1°C

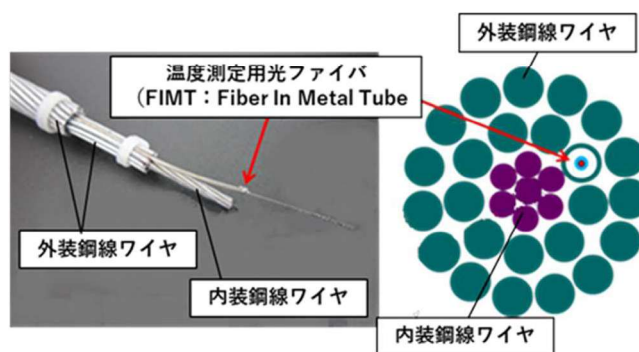


図-1 光ファイバセンサケーブル (FIMT) の構造

以下、空間分解能（分布解像度）は 5cm で計測が可能なレイリー散乱を用いた計測方式である。グラウト充填計測では、早い計測間隔も重要な要素とされるため、今回の計測では、計測頻度 17sec/回 で計測した。

また、今回の計測においては、グラウト液面位置を、気温や海温など施工環境の温度とグラウトとの温度差で検出するため、光ファイバセンサとして図-1 に示す FIMT（Fiber in Metal Tube）を実装した外径 1cm 以内程度の鋼線ワイヤを主材とするセンサケーブルを使用した。FIMT は外部環境から光ファイバを保護し、さらにひずみ・圧力の影響を排除して温度分布を計測するため、SUS 管に光ファイバを内蔵した構造を有し、グラウト充填の際にグラウトの注入圧や注入管などの接触による張力などによる影響が懸念される設置環境においても、高精度に温度計測できるセンサケーブルである。

3. グラウト充填計測

実際の現場において、海中および気中で二重鋼管の間をグラウト充填施工する際に、DFOS を用いてグラウト充填計測を実施した。図-2 にグラウト充填計測における光ファイバセンサの設置概要図を示す。光ファイバセンサはロッド 2 本に固縛した状態で、二重鋼管に対して対角に配置し、鋼管の天端から充填区間の底部にかけて垂架して設置した。計測結果の妥当性を確認するために、充填時におけるグラウト注入ポンプの積算流

キーワード 光ファイバ分布計測, グラウト充填, 施工管理, リアルタイム

連絡先 〒650-0023 兵庫県神戸市中央区栄町通 1 丁目 1-24 ニュープレクス（株） TEL 078-335-3510

量も計測しておき、積算流量からグラウト液面位置の理論値を計算した。この理論値と DFOS 計測値によるグラウト液面位置を比較することで、グラウト充填不良の発生の有無を監視した。

4. 計測データ

DFOS でリアルタイムに計測したグラウト

注入前を初期値とした温度差分の分布計測画面の例を図-3に示す。温度差分の分布の時間変化を、カラーコンター図で表示したものであり、表示色が寒色系から暖色系に変化するにしたがい温度が高くなることを示す。今回の施工時期は夏季であったため、地上で作成したグラウトが、海水温や注入区間の気温よりも高い状況となり、グラウト充填前の環境温度は寒色系、グラウト充填区間は暖色系で示された。この寒色区間と暖色区間の境界線が、グラウト液面ラインに相当し、時間経過にともなって上昇が確認され、計測で追えることが分かった。

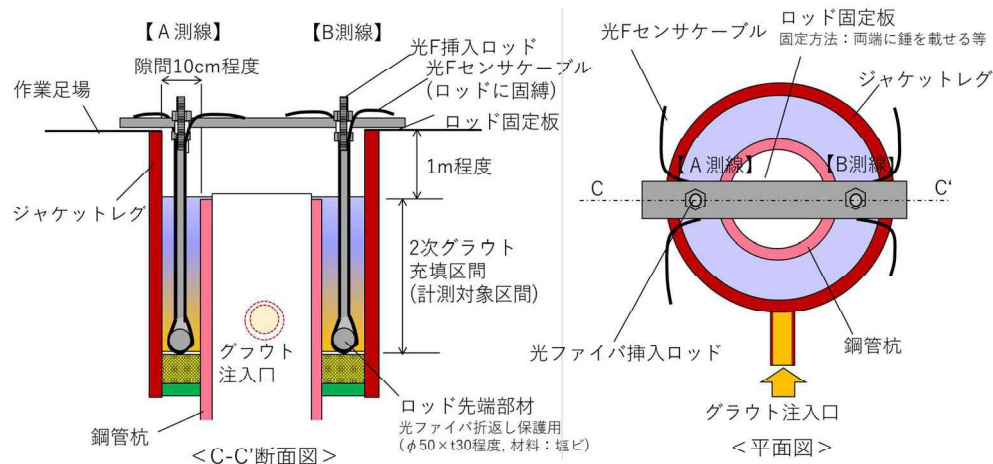


図-2 グラウト充填計測における光ファイバセンサーケーブルの設置概要図

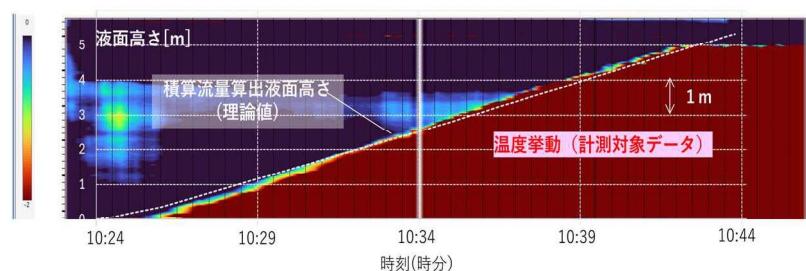


図-3 DFOS における温度差分の分布計測(リアルタイム)画面例

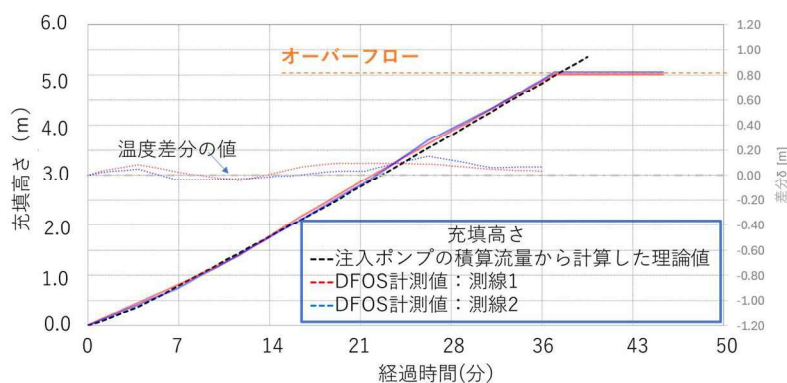


図-4 DFOS 計測結果と理論値の比較図

5. 計測結果の分析

DFOS で検出したグラウト液

面と注入ポンプの積算流量から計算した理論値を比較して図-4に示す。その結果、両者はほぼ一致し、グラウト充填が順調に推移したことがわかる。このように、グラウト充填施工中に充填不良は発生しなかったことが確認された。

6. まとめ

今回の計測を通じて、DFOS がグラウト充填施工中の品質管理に適用可能であることが示された。一方で、夏季はグラウト自体の発熱で環境温度と差が明確になり、判断するのに有利な環境と考えられる。今後は、夏季以外の季節においても、安定した結果を得るため、さらに計測手法などに工夫を加えて実用性を向上させることが望まれる。

謝辞：現場計測に多大なご協力の下さった国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所に感謝の意を表します。

参考文献 1) 岸田欣増ほか：土木分野の現場適用へ向けた光ファイバ分布計測技術の新たな知見，令和5年度土木学会第78回年次学術講演会，CS9-44，2023.9。