

光ファイバセンサを用いたトンネル近接施工計測事例

光ファイバセンサ, 計測, BOTDR

NTT インフラネット株式会社 関西支店 鎌田 敏正 奥野 正富
財団法人 地域地盤環境研究所 橋本 正 藤原 正明 早川 清
アイレック技建株式会社 西日本営業本部 関 孝次郎 坂田 栄治

1. はじめに

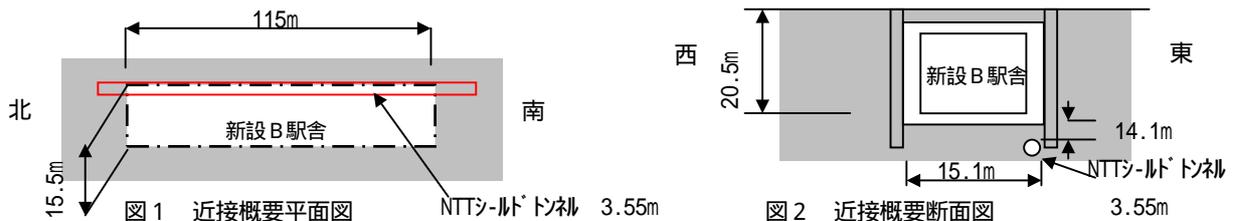
NTTの通信用トンネル(以下、とう道という)ルートの近傍に地下鉄工事が計画され、そのうちの約2.5kmが近接施工となり、工事に伴うとう道の構造的安定性を確認しつつ施工を行うことを目的として、とう道の変状を長期間・広範囲に渡って管理する必要が生じた。従来の内空変位計・ひずみゲージに代表される既存の計測手法では、設置個数が膨大となり個別にセンサケーブルが必要、センサ種別毎に異なる測定器が必要、など計測システムが複雑化すること、またセンサの耐久性、計測点の密度あるいは拡張性に問題があった。

そこで今回、大容量通信伝送媒体として広く用いられている光ファイバの通信機能以外の特徴である、長手方向に発生したひずみを測定する計測手法(光ファイバ内で発生する後方散乱光を利用した、B-OTDR方式: Brillouin Optical Time Domain Reflectometer)を用いたトンネル監視システムを構築し、とう道の変状計測を行うこととした。なお、光ファイバセンサの特徴、および本トンネル監視システム構成内容等については、参考文献¹⁾を参照されたい。

本論文では、光ファイバセンサの構造物への設置方法の改善例と、地下鉄駅舎部の掘削工および構築工施工時における、計測結果について報告するものである。

2. 近接施工の概要

一例として、地下鉄B駅舎部における近接施工の概要を図1および図2に示す。



3. 光ファイバセンサ設置方法の改善

光ファイバセンサは、とう道の内空変位を対象として横断両方向(水平・垂直)とう道軸方向ひずみを対象として縦断方向に配置した。その概要を図3に示す。縦断方向における取付位置は、駅舎部掘削に伴うとう道上部土圧が減少することを考慮し、トンネル上側、下側の2方向に設置した。従来、光ファイバセンサの土木構造物への取付けにあたっては、主に全面接着方式(直接方式)が用いられていた。全面接着方式では光ファイバケーブルを接着剤により構造物に直接固着していくため、接着箇所の清掃、センサへの初期引張歪導入(圧縮・引張歪計測のため)に時間を要し、また接着性能の経年劣化等の問題点があった。そこで今回、光ファイバケーブルに一定張力を加え両端を構造物に固定していく固定治具方式(間接方式)を採用した。これにより、従来方式に比べ格段に施工能率を向上でき、また接着剤性能の懸念は払拭できた。

図4に光ファイバセンサ設置状況を示す。なお、軸方向センサケーブルとトンネル構造物面との離隔は、約10mmである。

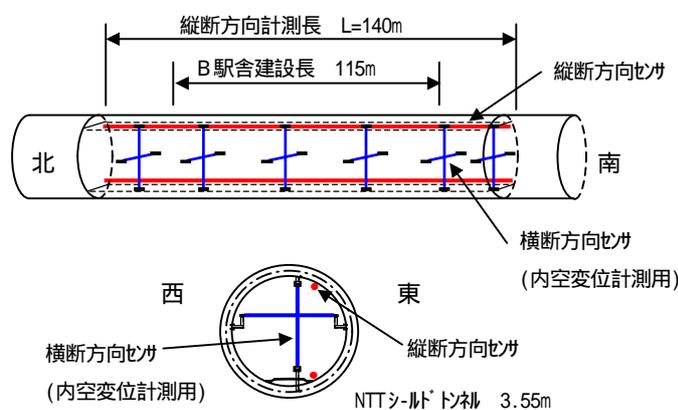


図3 光ファイバセンサ配置概要図

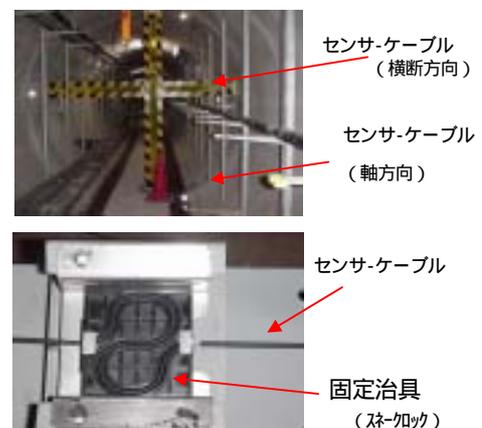


図4 光ファイバセンサ設置状況

The case of Optical Fiber Sensor (BOTDR) System which applied to the monitoring of tunnel deformation., Tosimasa KAMADA, Masatomi OKUNO, Tadashi HASHIMOTO, Masaaki FUJIWARA, Kiyoshi HAYAKAWA, Koujiro SEKI, Eiji SAKATA

4. 計測状況

図5にB駅舎建設に伴うとう道内センサ配置状況平面図を示す。土留杭打ち施工時に計測を開始（平成13年2月）し、これまでに躯体構築工事が完了（平成15年1月）し、現在、埋戻工及びシールド工準備中である。併せて計測は同1月に終了した。

B駅舎建設に伴う計測データ（経時変化）を図6, 図7, 図8に示す。縦断方向（軸方向ひずみ）、横断方向（内空変位）の各計測値は、掘削工及び構築工の進捗に応じて変化し、これらのデータは、コンピュータ監視システムにより地下鉄工事現場事務所に日々配信され、現場での日常施工管理に活用していただいた。

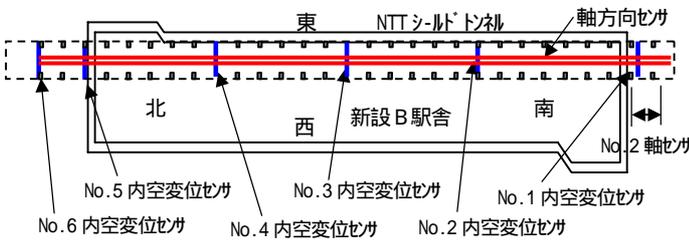


図-5 センサ配置状況平面図

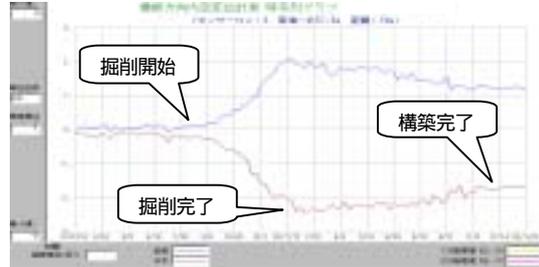


図-6 横断方向(No.3内空セサ)変位量経時変化

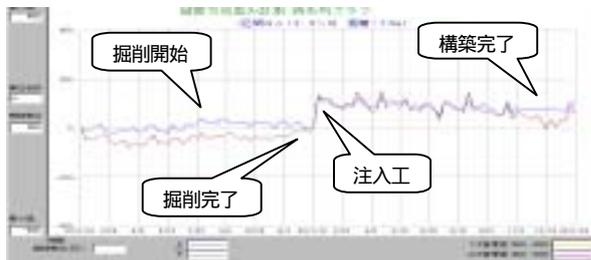


図-7 縦断方向セサ(No.2軸セサ)歪量経時変化

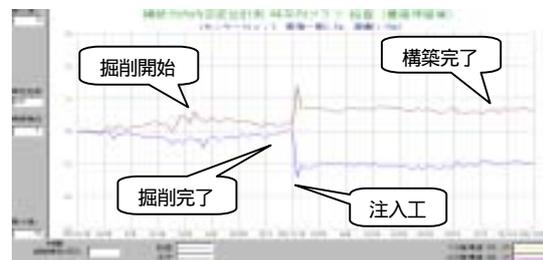


図-8 横断方向(No.1内空セサ)変位量経時変化

図6に示す掘削工・構築工を通じての横断方向センサ（内空変位）の経時変化から、図9に示すとう道の変形挙動が確認された。これらは掘削に伴う上部土圧の一時的な減少、またその後の構築・埋戻しによる上部土圧の回復によるものと考えられ、事前影響解析時に予想された変形モードに一致し、本監視システムがトンネルの挙動を的確に捉えていることを立証している。

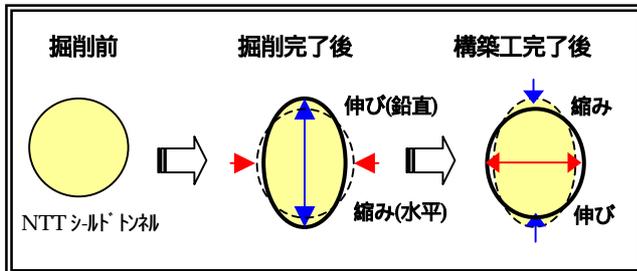


図-9 トンネル変形モード断面図

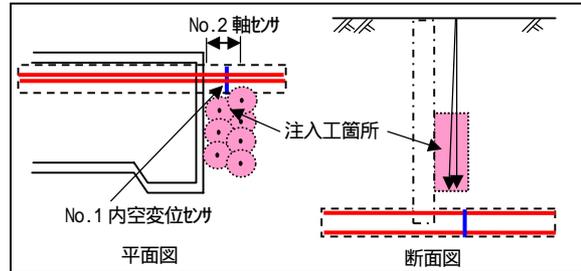


図-10 注入工(No.1内空セサ付近)概況位置図

また縦断方向については、全延長に渡る連続的なデータが取得され、典型的な例として図10に示すトンネル上部の注入工の際に、当該区間（縦断方向：No.2軸センサ付近）において上側・下側ともに急激な $+200\mu$ 程度の引張ひずみの変化が測定された。期を同じくして、とう道内二次覆工表面の円周方向のヘアクラック（最大 0.50mm 程度）が確認された。一方、縦断方向計測区間北端側では、工事期間を通じて大きな変化は見られず、軸方向ひずみのばらつきは、最大 50μ 程度であった。

5. まとめ

既存の計測手法では、設置、管理コスト等の経済的制約により計測の空白域が生じ、とう道のような線状構造物を延長全域に渡り挙動を監視することが困難であった。光ファイバセンサの特性を活用した本計測システムにより、従来の計測手法ではカバーできなかった連続的な長距離間のデータが取得され、かつ長期的なとう道構造物の監視が可能となった。今後も、その他の駅舎部の掘削・躯体構築、および地下鉄シールド近接施工等の工事が予定されているが、同様に光ファイバセンサ計測システムによる線状連続計測管理手法を実施することで、地下鉄工事の安全で円滑な施工管理に寄与できると確信している。

【参考文献】1) 松下 晃、鎌田 敏正、奥野 正富、関 孝次郎、田中 隆治：光ファイバセンサを用いたトンネル監視システム（B-OTDR方式）第37回地盤工学研究発表会公演集, pp.1663~1664, 2002.

The case of Optical Fiber Sensor (BOTDR) System which applied to the monitoring of tunnel deformation., Tosimasa KAMADA, Masatomi OKUNO, Tadashi HASHIMOTO, Masaaki FUJIWARA, Kiyoshi HAYAKAWA, Koujiro SEKI, Eiji SAKATA