

光ファイバセンサ（FBG）を用いたトンネル挙動計測

NTT インフラネット 関西支店 正会員 ○鳥越寿彦
 NTT インフラネット 関西支店 正会員 秋山泰敏

1. はじめに

光ファイバは、情報通信における伝送媒体として広く用いられているが、光ファイバそのものより、ひずみや温度を計測できるセンサとしての利用が盛んに計画・実施されている。本論文では、トンネルに近接施工される立坑の影響を光ファイバセンサで行った計測手法について報告する。

2. 近接施工概要

近接施工される立坑は、シールドトンネルの到達縦坑であり、近接状況は図-1に示すとおりである。

この工事によりトンネルはリバウンドや土留め壁の変形に伴う周辺地盤の変形により、地盤内の応力バランスが崩れ、偏土圧が作用すると考えられる。

そこで、この工事による影響解析を行った。横断方向の解析については、土留め壁の弾塑性解析結果から2次元条件下での線形弾性有限要素解析（FEM）を行った。縦断方向の解析では既設 NTT トンネル（一次覆工：スチールセグメント、二次覆工：無筋コンクリート）の構造をRC構造物（セグメントリング間ボルトを鉄筋と仮定）とした弾性床土上の梁解析を行った。

その結果、既設 NTT トンネルの詳細な計測を実施することとした。

3. 光ファイバ計測

今回の計測で使用する FBG センサ（Fiber Bragg Grating）は、コアの一部に屈折率が異なる部分（グレーティング）を設け、光ファイバに光パルスが入射すると、特定の波長成分（ブラッグ波長）のみを共振反射する機能を有している。

このブラッグ波長は光ファイバの伸縮（ひずみ）に比例してシフトするため、このブラッグ波長のシフト量を計測することにより、光ファイバのひずみ量を測定できる。（図-3参照）

また、1本の光ファイバケーブルにグレーティングを複数箇所設置する事により、連続したポイントのひずみを同時に計測することが可能である。

3-1 光ファイバセンサの固定方法

今回の計測では、グレーティングを設けたファイバ心線そのものを2個の特殊治具（以下金属製ボピンという）に巻き付け、二次覆工コンクリート面にその金属製ボピンを固定し、その間の平均ひずみを計測する方法を採用した。

従来の方法では FBG センサを計測対象に直接接着固定するか、もしくは接着固定して製作された計測機器を用いていたが、前者はその計測時のみ有効な使い捨てセンサであり、後者は本計測現場に対応するタイプがないため、特殊治具による方法を採用した。（図-4参照）

この固定方法は、金属製ボピン（特殊コーティング）にファイバ心線を数回巻き付けることによ

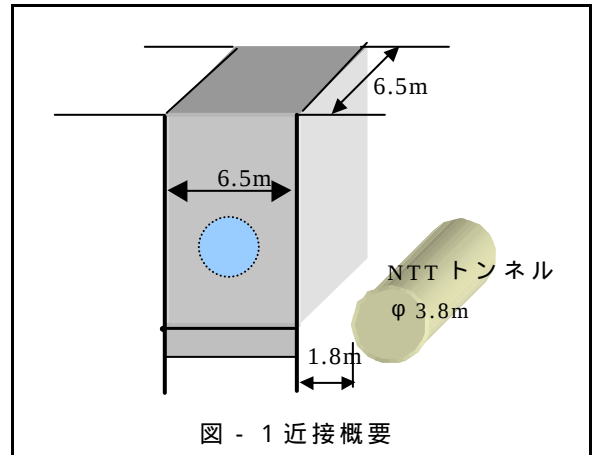


図-1 近接概要

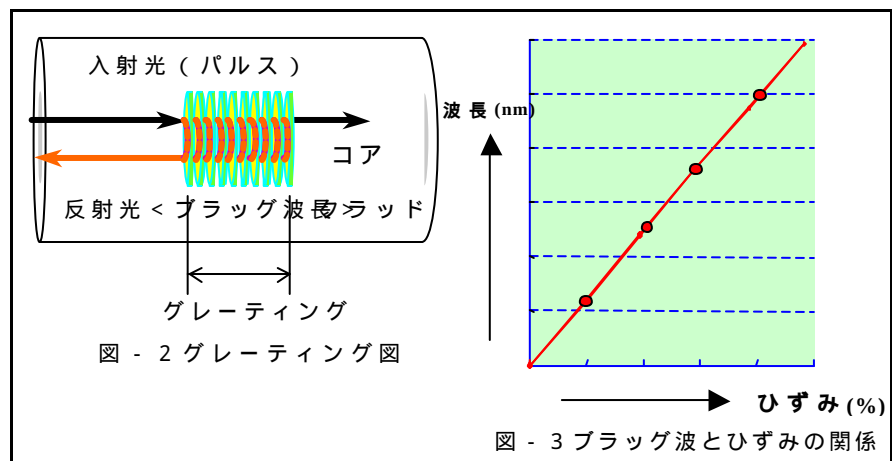


図-2 グレーティング図

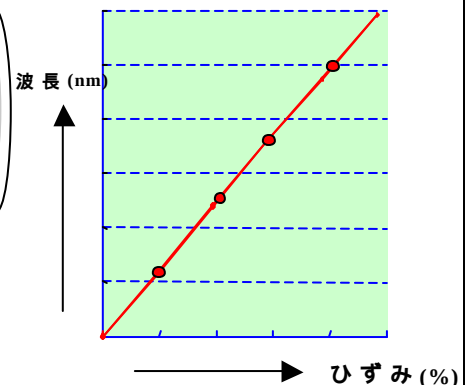


図-3 ブラッグ波とひずみの関係

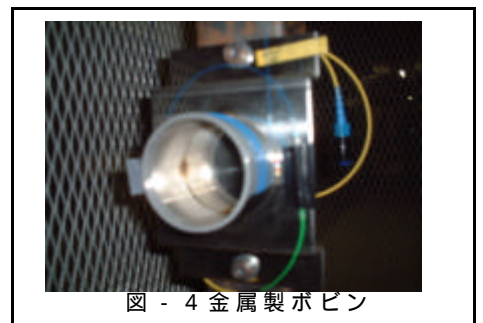


図-4 金属製ボピン

キーワード FBG、光ファイバ、現場計測、ひずみ、近接施工

連絡先 〒541-0056 大阪府中央区久太郎 2-4-11 NTT インフラネット（株）関西支店 TEL06-4705-7593

り固定するものであり、接着剤等を使用しないため、ファイバ心線は自由に取り外しが可能であり、金属製ボピンの移設や計測値上昇による盛り替えなども容易に行うことが可能である。

3 - 2 センサ固定方法の検討

FBG センサを金属製ボピンに固定するにあたり、影響解析値から算出した計測容量に相応のプレテンションを与えるが、その値が FBG センサ設置後どの程度で安定するかが本固定方法の問題点であった。そこで、プレテンション値 + 200 μ の 2,200 μ で固定し、その変動を観察することにした。

その結果、図 - 6 に示すとおり 12 月 12 日に設置後、15 日までは気温変化の変動が計測できなかったが、15 日以降は気温変化に追従した計測データ ($\pm 5\mu$) が取得できている。ひずみが安定するまでのひずみ低下量はおよそ 20 μ 程度であり、その期間は約 1 週間であった。

次に温度補正用 FBG センサの効果について確認した。FBG センサには温度依存性があるため、温度校正を行うことによりひずみを計測することが可能である。今回は既設 NTT トンネル内の温度変化のみを計測するように FBG センサを設置し、計測用 FBG センサの温度変化を除去する方法とした。

また、温度補正用 FBG センサは、計測断面毎に設置し、計測断面と同一ファイバにより同時に計測（最大 1 ファイバ 5 センサ）することにより、計測位置による誤差を最小限にした。図 - 7 に温度補正前と補正後のグラフを示す。

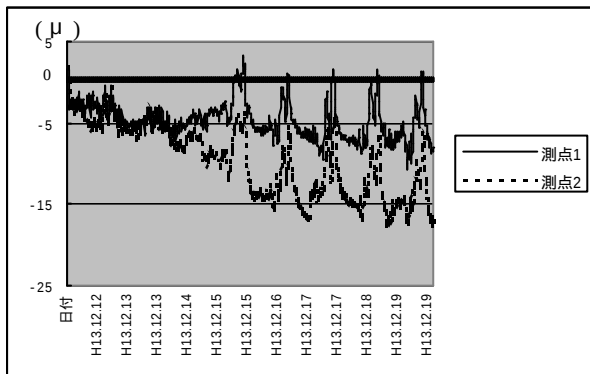


図 - 6 センサ安定状況

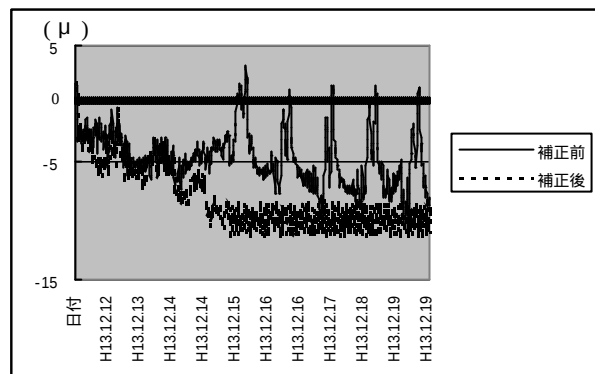
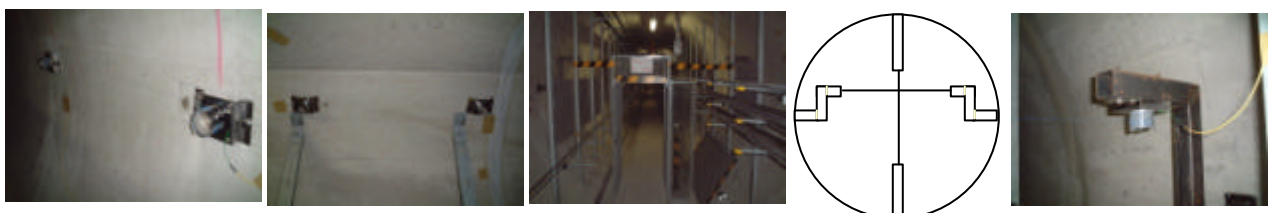


図 - 7 温度補正状況

3 - 3 計測ポイント

縦断方向の計測ポイントは、影響範囲内 5 断面と影響範囲外 1 断面の合計 6 断面において、天地左右の 90° ピッチに 4 箇所合計 24 測点計測する事にした。断面方向の計測ポイントは、影響範囲内 5 断面において、上下・左右の内空変位 2 箇所、合計 10 測点計測することにした。また、温度補正用 FBG センサは、断面毎に外力の影響を受けない場所に設置した。図 - 8 にセンサ設置状況を示す。



縦断方向センサ設置状況

横断方向センサ設置状況

図 - 8 センサ設置状況図

4 . おわりに

今回の固定方法の発想は、敏感なセンサの持ち味を十分生かす方法として、接着剤を使わずにファイバ自体を固定する方法であり、FBG センサの本来の精度が確認できるものである。しかし、生心線が設置されているため、防護方法等について検討することが必要である。

FBG センサの設置を昨年 12 月に実施し、現在（平成 14 年 3 月）立坑の初期掘削中である。本論文発表時には計測データが取得できているため、計測結果について報告できると考えている。

今後、光ファイバセンサの効率的な設置ができるセンサの開発や効率的な計測方法を確立することによりコストダウンを図っていく予定である。