

光ファイバセンサを用いた土留鋼管杭のひずみ計測

国土交通省 東京空港整備事務所 正会員 野口 孝俊

港湾空港技術研究所 地盤・構造部 正会員 菅野 高弘, 田中 智宏, 鈴木 貴志

NTTインフラネット(株) 正会員 ○平山 和幸, 青木 俊朗

1. はじめに

羽田空港再拡張事業 D 滑走路における構造物モニタリング計画¹⁾では, 鋼管杭において十年を超える長期的な計測が計画されていることから, 長期間の使用に耐えうるセンサが要求されている。

土木計測用のセンサには, ひずみゲージ式や差動トランス式・サーボ式など種々の方式があり, 土留めやトンネル, 盛土, 基礎工等の工事現場で, 安全管理や施工管理に広く用いられている。取り分け, 電気式センサを用いて長期間の計測を実現するためには, センサの堅牢性はもとより, 絶縁不良や落雷に対する対処等が必要になる。一方, 近年光ファイバ自体をセンサとして用いるモニタリングが種々の現場で適用・実用化され, 長期間の計測が可能と期待されているが, 地中や水中といった特殊環境下に設置される鋼管杭に適用する技術は確立されていない。

そこで本稿では, 鋼管杭における光ファイバセンサ設置の施工適用性について実現場の鋼管杭を用いた実証試験を実施するとともに, 光ファイバセンサと同一深度に設置されたひずみ計との計測値の対比を行い, 光ファイバセンサの有効性を検証した。本稿では主に, 現場実証試験の概要および計測結果について報告する。

2. 現場実証試験の概要

現場実証試験は, 現在建設中の大阪港夢洲トンネル夢洲アプローチ部の土留鋼管杭の 1 本に光ファイバセンサを事前に設置後, その杭をバイプロハンマー(型式: VM4-A36000, モーター出力: 240kW)により打設し, その後の掘削工の進捗に応じて段階的に光ファイバの計測を実施した。

計測対象杭は, 直径 1200mm, 厚さ 14mm, 全長 56.0m(上杭 27.5m, 下杭 28.5m)の継杭方式である。継杭部では, 現場溶接後に光ファイバの融着接続処理を行った。計測対象杭には, FBG と BOTDR の 2 種類の光ファイバセンサを設置した。設置した光ファイバセンサの配置図を図 1 に示す。FBG センサは, 上杭に 9 測点, 下杭に 9 測点の計 18 測点を掘削側・背面側それぞれに設置した。なお, 同一深度に差動トランス式のひずみ計が設置されている。BOTDR センサは, 背面側にのみ設置した。センサ区間は上杭で GL-2.5m~-23.5m, 下杭で GL-30.0m~-50.5m である。

3. 光ファイバ設置方法

光ファイバセンサは, 施工性も考慮の上, 施工時での損傷回避および維持管理時の長期的品質の確保のために, 下記の点に留意して設置した。

- 1) 光ファイバを確実に固定するため, 鋼管杭の設置面は十分にケレン処理を行った。
- 2) 杭打設時の振動力により光ファイバ破断が生じぬように, ファイバは鋼管にエポキシ樹脂系接着剤で全面接着した。なお, BOTDR センサにおいては適切なプレテンションを与えながら接着固定した。
- 3) 経年劣化に伴い接着剤が剥がれても鋼管杭のひずみを計測できるように, 固定治具により光ファイバを

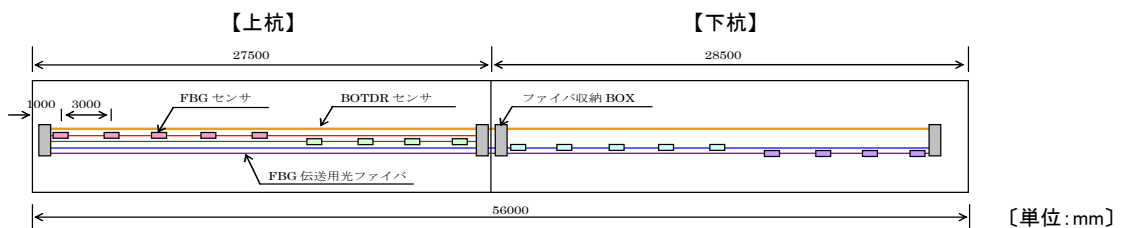


図 1 光ファイバセンサの配置模式図

キーワード 光ファイバセンサ, 現場計測, 羽田空港 D 滑走路

連絡先 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1-15F NTT インフラネット(株) TEL : 03-5643-5629

鋼管へ圧着することで、光ファイバ・鋼管杭間の摩擦付着力を付与した。

- 4) 光ファイバへの水の浸透による劣化がないよう、難透水性の材料で塗布・防護した。
- 5) 継杭部における光ファイバの接続処理などのために、上・下杭の両端部に耐水圧性の光ファイバ収納ボックスを設けた。

4. 計測結果

(1) 現場適用性確認結果

計測対象杭は、平成 17 年 12 月に光ファイバの設置を終え、平成 18 年 1 月に下杭打設、継杭溶接、上杭打設といった一連の打設施工を行った。上杭側および下杭側の光ファイバセンサの融着接続作業は、ひずみ計の接続作業とほぼ同じ時間で実施できた。また都合上、鋼管杭打設完了から約 2 ヶ月後（平成 18 年 3 月）に FBG および BOTDR の初期値計測を実施した。その結果、すべてのセンサで断線はなく、光ファイバセンサ設置方法の適用性が確認された。なお、本実証試験ではバイブロハンマーを用いた鋼管杭打設であったが、これとは別に油圧ハンマー（型式：S-200、最大打撃エネルギー：200kN・m）による実証試験を実施し、問題ないことを確認している。

(2) ひずみ計測結果

FBG および BOTDR のひずみ計測は、掘削・切梁架設段階に応じて実施した。床付コンクリート設置完了時のひずみ深度分布図を図 2 および図 3 に示す。なお、横軸のひずみ値は初期値計測からのひずみ変化量である。また、両図では圧縮ひずみを正、引張ひずみを負にしている。

図 2 は、背面側における FBG、BOTDR およびひずみ計の計測結果を比較している。FBG とひずみ計を比較すると、分布形状および値ともほぼ一致している。一方、BOTDR とひずみ計を比較すると、分布形状は一致するものの、ひずみの値は圧縮側に 100~200 μ 程度シフトしている。この傾向は図で示した以外の計測結果全てで伺えることから、初期値計測以後に接着剤の硬化収縮が進み、このひずみを BOTDR が捉えたものと考えられる。

図 3 は掘削側および背面側に設置された FBG およびひずみ計の計測値より、軸ひずみと曲げひずみに分離して整理したものである。FBG とひずみ計の結果は、軸ひずみおよび曲げひずみの両者において、分布形状および値とも概ね一致していることが分かる。

5. まとめ

羽田空港再拡張事業 D 滑走路における構造物モニタリング計画に資するため、鋼管杭における光ファイバセンサ設置の施工適用性および有効性の検証として、実現場の鋼管杭を用いた実証試験を実施した。

今回実施した光ファイバ設置方法は、杭打設による光ファイバセンサの損傷は生じなかった。また、光ファイバセンサにより得られたひずみ計測値は、ひずみ計によるひずみ計測値とほぼ一致していることを確認した。なお、本研究で得られた知見に若干の改良を加え、羽田空港再拡張事業 D 滑走路建設工事の光ファイバ計測を計画・施工している。【謝辞】現場計測にあたり、国土交通省大阪港湾・空港整備事務所のご協力を得た。末筆ながら関係各位に深謝の意を表します。【参考文献】1) 齋藤泰之、野口孝俊、鈴木紀慶、新原雄二：羽田空港再拡張事業 D 滑走路における大規模杭土圧構造物のモニタリング計画，第 43 回地盤工学研究発表会（投稿中）。

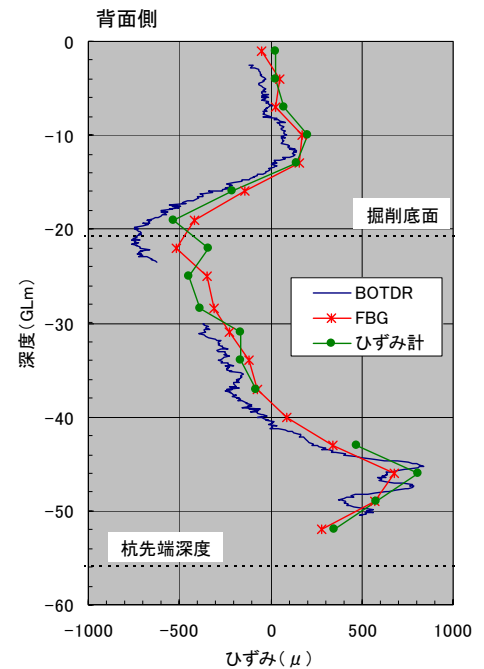


図 2 センサ別のひずみ分布の比較

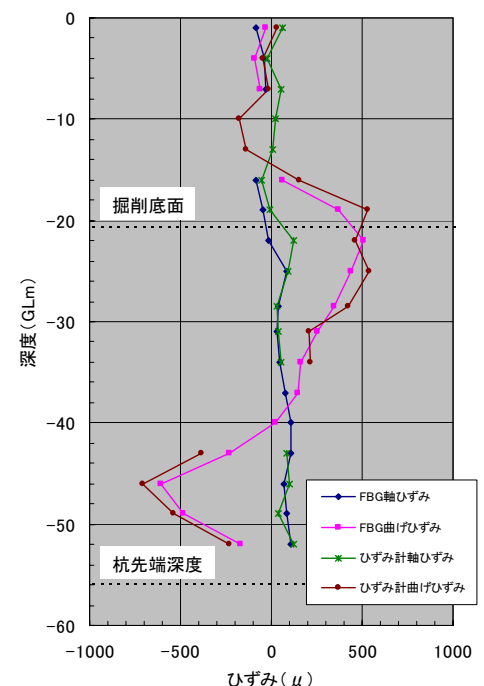


図 3 センサ別の軸ひずみおよび曲げひずみ分布の比較