

光ファイバセンサ(FBG)を用いた多段式傾斜計による地盤変形挙動計測

エヌ・ティ・ティ・インフラネット(株) 正会員 佐藤壽夫 岩島一郎
堀 晃芳
大成基礎設計(株) 正会員 篠川俊夫
坂田電機(株) 高濱利光

1. はじめに

光ファイバセンサのひとつであるFBG(Fiber Bragg Grating)を利用した2種類の多段式傾斜計を開発し¹⁾、地盤変形挙動計測に適用した²⁾。光ファイバ計測は、電気計測と比べて、防爆性・無誘導性、配線簡略化、長距離伝送、耐腐食性、長期耐久性などの特長がある。FBGとは、光ファイバ中で屈折率を変化させた部分(回折格子)のことで、特定の波長だけを反射する。FBGが外力により歪むと回折格子の間隔が伸縮して反射波長が変化する。この反射波長を測定して波長の変化からひずみを計測する方法であり、微小な変位を測定するのに適している。FBGは、光ファイバセンサの中でもリアルタイムに精度のよい計測が行えることから、土木計測に適しており、近年適用されるようになってきている。

開発した多段式傾斜計は、検出部をはさむ相対角度を測定するタイプ(折れ角タイプ)と重力方向からの角度を測定するタイプ(振り子タイプ)の2種類である。この多段式傾斜計を、住宅地に近接した盛土工事による住宅地地盤へ与える影響を監視するために設置して計測を行った。この計測は3年以上にわたって継続し、光ファイバ計測における長期計測の貴重な実績となっている。

本論文では、開発した2種類の多段式傾斜計を紹介するとともに、実際の地盤変形挙動計測に適用した事例について報告する。

2. 多段式傾斜計の概要

(1) 折れ角タイプ

折れ角タイプは、剛性を持った管の連結部において角度変化を測定するものである。計器仕様を表-1、外観を写真-1、図-1に示す。

測定原理は、図-2に示すように、FBGを組込んだ2本の曲げ検出部を対称な位置に配置して連結部(重量支持部)の折れによる相対的な距離の変化をFBGの伸縮で検出するタイプである。2本のFBGを対置させることにより温度の影響を相殺している。検証データを図-3に示す。角度変化(距離変化)に伴い2本のFBGに精度よく対称にひずみが発生していることがわかる。

表-1 計器仕様(折れ角タイプ)

寸法	43.5mm
測定範囲	±5400秒(±1.5度)
分解能	12秒
精度	±0.5% F.S.以内
許容温度範囲	-10~60



写真-2 計器外観(折れ角タイプ)

(2) 振り子タイプ

振り子タイプは、重力方向からの角度を測定するもので、ボーリング孔中の各深度で独立した条件で角度

Monitoring of Ground Deformation Behavior by Multiple Borehole Inclinometers using Optical Fiber Sensor

Toshio Sato, Ichiro Iwashima, Akiyoshi Hori (NTT InfraNet Co., Ltd.)

Toshio Shinokawa (Taiseikisosekkei Co., Ltd.), Toshimitsu Takahama (Sakatadenki Co., Ltd.)

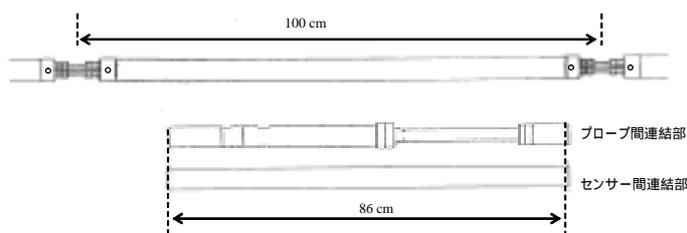


図 - 1 計器概要図(折れ角タイプ)

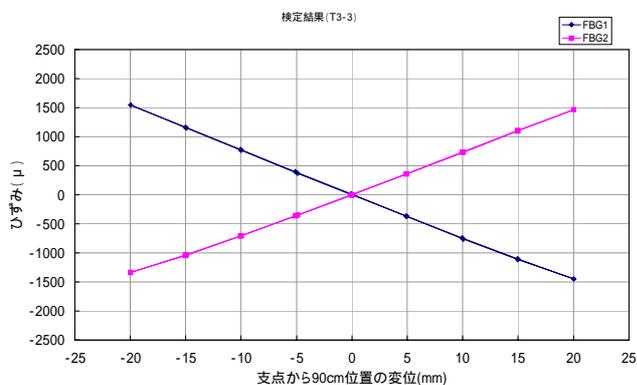


図 - 3 検証データ(折れ角タイプ)

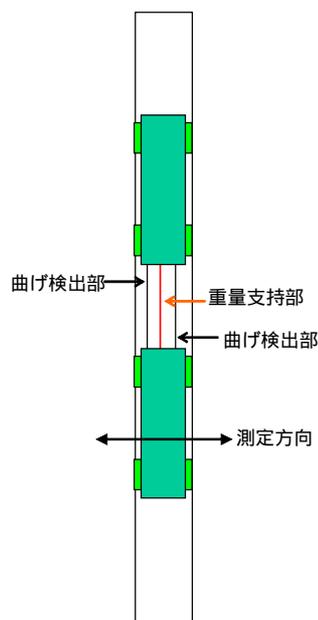


図 - 2 測定原理(折れ角タイプ)

の測定を行うため深度方向に誤差の累積が発生しない。計器仕様を表 - 2 ,外観を写真 - 2 ,図 - 4 に示す。

測定原理は、図 - 5 に示すように、振り子の傾斜による張力変化を F B G の伸縮で検出するタイプである。センサ部は、光ファイバに集中応力がかかりにくい接着・固定方法を採用することで光ファイバの断線を抑えている。また、振り子および回転軸に工夫を施すことで精度の向上と小型化も図っている。さらに、1 台の傾斜計に角度測定用と温度測定用の 2 本の F B G を内蔵しており、温度補正が可能である。検証データを図 - 6 に示す。角度変化に精度よく追従していることがわかる。

表 - 2 計器仕様(振り子タイプ)

寸法	38mm × 365mm
測定範囲	± 5400秒 (± 1.5度)
分解能	12秒
精度	± 0.5% F.S.以内
許容温度範囲	- 10 ~ 60



写真 - 2 計器外観(振り子タイプ)

(3) 特性比較

開発した多段式傾斜計の特性を表 - 3 に示す。折れ角タイプは鉛直のみならず水平での計測ができ、振り子タイプは固定式として単体での傾斜測定ができるという特長もある。

3. 計測概要

盛土工事による近接する既存住宅地および周辺の地盤の変形挙動を監視する目的で多段式傾斜計を設置した。また、地表面付近の地盤変形挙動を把握するために伸縮計も設置した。盛土工事の範囲と計測位置を図 - 7 に、施工断面と計測位置を図 - 8 に示す。盛土施工により側方土圧および上載荷重の増加が想定された。そこで、図 - 8 に示すように、民家の擁壁基礎部 A と道路路肩部 B の間の水平伸縮量を伸縮計で、路肩部 C で鉛直ボーリング孔を利用して地中変位量を多段式傾斜計で計測した。計測手法としては、従来の電気式センサが一般的であるが、耐久性があり、落雷などの影響を受けにくいなどの優位性がある光ファイバセンサ (F B G 方式) を採用した。光ファイバセンサはひとつの測定器で多種類の計器の測定ができるという特長があり、2 種類の多段式傾斜計と伸縮計を同一の測定器で測定した。

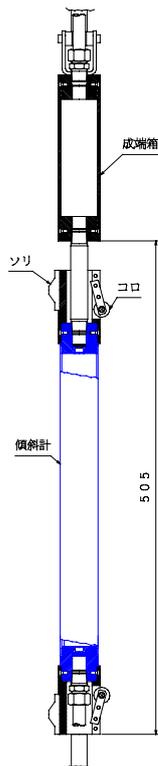


図 - 4 計器概要図(振り子タイプ)

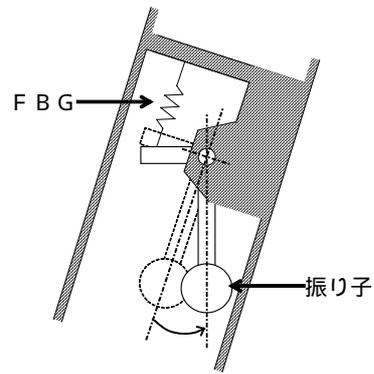


図 - 5 測定原理(振り子タイプ)

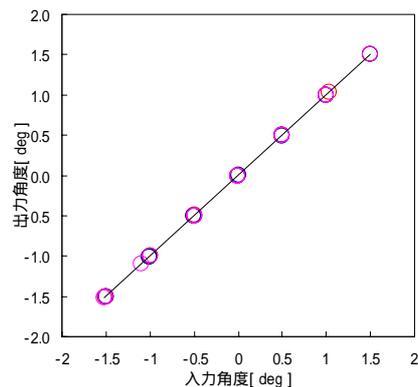


図 - 6 検証データ(振り子タイプ)

表 - 3 計器特性比較

項目	折れ角タイプ	振り子タイプ
ガイドパイ径	外径 70mm, 内径 59mm	外径 70mm, 内径 59mm
測定間隔	1m以上	1m以上
測定仕様(1m)	測定範囲; ±26mm/m 精度; ±0.26mm/m 分解能; 0.06mm	測定範囲; ±26mm/m 精度; ±0.26mm/m 分解能; 0.06mm
最大連装数量	50	50
測定対象	検出部をはさむ相対角度	重力方向に対する角度
角度検出方法	折れによる相対距離変化	振り子による張力変化
温度補正方法	センサ対置による温度影響相殺	温度計を利用
特徴	・隣接する検出部間の剛結が必要 ・鉛直・水平設置が可能	・検出部間の縁切りが可能 ・温度測定が可能

折れ角タイプは平成 14 年度に No.1, No.2, 平成 16 年度に No.3(No.1 を転用)に設置し, 振り子タイプは平成 16 年度に No.2 に併設した。多段式傾斜計の設置状況を写真 - 3 に示す。

4. 計測結果

盛土工事がほぼ完了した段階での計測位置No.2における多段式傾斜計の計測データを図 - 9 に示す。工事中に特に大きな変形は発生しておらず, 土質層境にも顕著な挙動が見られることなく, 全体に微小な変形に留まった。

計測結果より以下のようなことが考察された。

盛土工事に伴う地中の微小な変形を精度よく計測できることが確認された。

折れ角タイプで3年以上, 振り子タイプで1年以上, 安定して計測データが得られており, 長期計測への適用性が確認された。

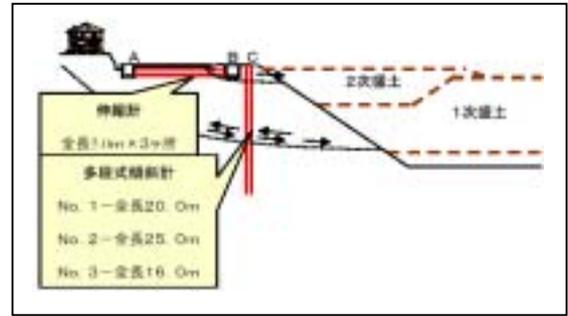


図 - 8 盛土施工断面と計測位置

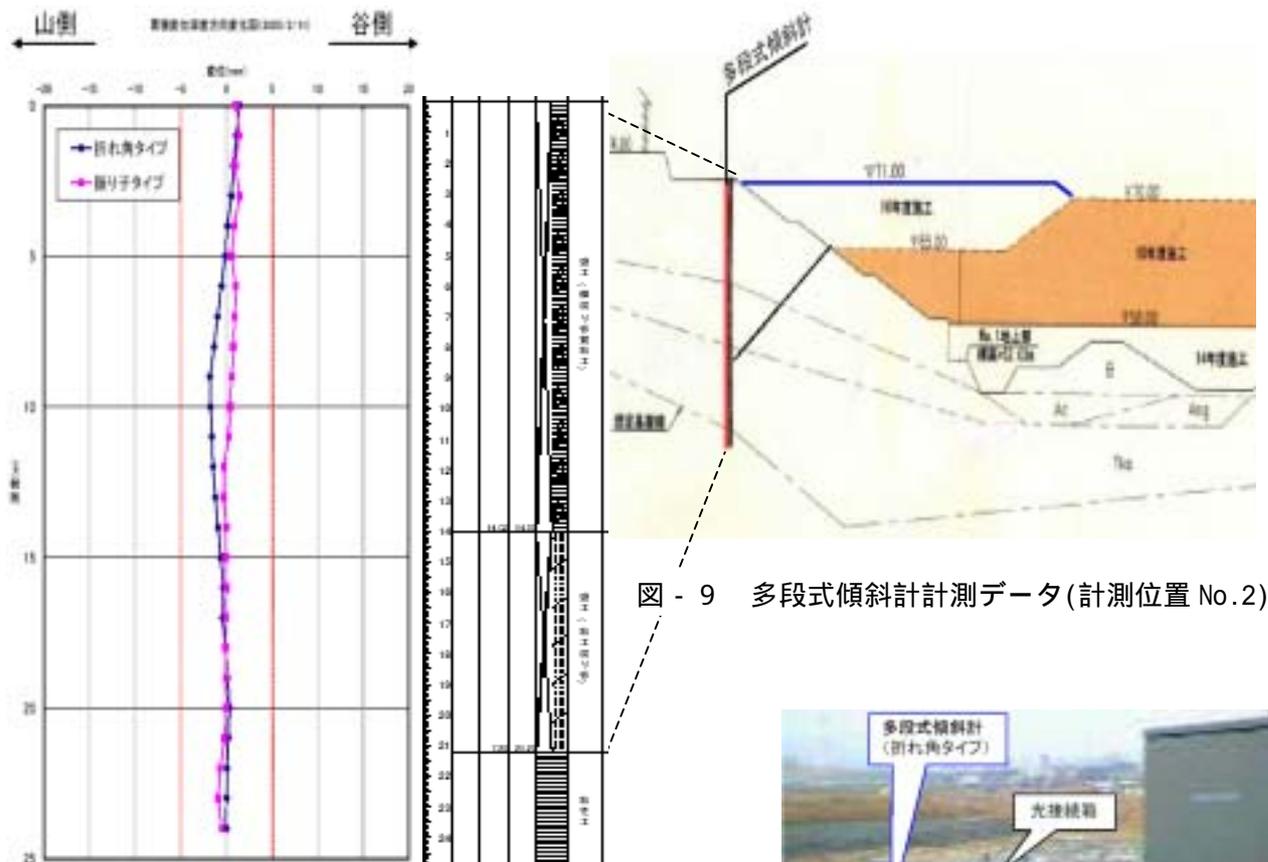


図 - 9 多段式傾斜計計測データ(計測位置 No.2)



写真 - 3 計器設置状況

5. おわりに

F B G方式の2タイプの多段式傾斜計による地盤変形挙動計測を行い、光ファイバ計測の有効性を検証した。多段式傾斜計は地中の微小な変形挙動を捉えることができ、地盤変形挙動計測への光ファイバセンサの適用性が拡大していくものと期待している。

なお、本計測に尽力していただいた独立行政法人都市再生機構の関係各位に感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 篠川ら：光ファイバによる多段式傾斜計の開発，第40回地盤工学研究発表会，pp.141-142，2005
- 2) 佐藤ら：光ファイバセンサを用いた多段式傾斜計による地盤変形計測，第40回地盤工学研究発表会，pp.143-144，2005