

光ファイバを用いた土構造物のひずみ計測の適用性検討

三菱重工業(株) 横浜製作所*
三菱重工業(株) 長崎研究所
(財) 鉄道総合技術研究所

正会員 伊藤 裕昌
正会員 紀 博徳 山浦 剛俊
正会員 村田 修 正会員 小島 謙一

1. まえがき

鉄道や道路のように延長の長い線状の土構造物では、走行安全性確保のために局所的な変状の観察や定期点検が実施されている。しかし、このような現地調査は非常に煩雑で多大の労力を必要とし、また、盛土内や擁壁背面などの変状を発見することは困難である。そこで、リアルタイムでかつ簡便に変状を検知でき、土構造の健全性を連続監視することが可能なシステムの開発が望まれている。一方、最近の光ファイバセンシング技術の著しい進歩により、長距離にわたるひずみ分布を精度良く連続的に計測することが可能となり、特にレーザパルス光を使用する「BOTDR法」が注目されている⁽¹⁾。本計測法では、ブリルアン散乱光の周波数変化により光ファイバ内に発生するひずみを計測し、レーザ光が戻ってくる時間から位置を求める。本研究では土構造物へ光ファイバひずみ計測技術を適用することを目的に、種々の形式の光ファイバセンサを用いて盛土模型試験を実施し、従来使用されている変位計やひずみゲージによる計測結果と比較検討した。

2. 盛土模型試験の概要

2.1 試験概要

最大荷重294kNの大型油圧载荷装置のピット内に長さ7m、幅3.4m、高さ1.5mの小型の盛土（のり勾配1:1.5）を構築し、のり肩部に鋼製载荷板を設置し、2回に分けて载荷試験を行った。（図1）

ケース1では1m×1mの载荷板Aをのり肩から0.5mの位置に設置し、ケース2では、盛土を破壊させることを目的にケース1で载荷を行った後、一旦除荷しケース1より小さい1m×0.5mの载荷板Bをのり肩から0.2mの位置に設置して、図2に示すステップで载荷を行った。なお、両ケースとも所定の载荷板荷重に達してから5分間放置し、計測を行った。

盛土材は表1に示す物性の礫質砂を用いた。

2.2 光ファイバセンサ概要

光ファイバを土構造物のひずみ計測に適用するために、次の3種類の設置方法を考えた。(1)盛土内に水平に埋込む方法(タイプ1)、(2)杭形状にし、盛土のり肩より鉛直方向及びのり面垂直方向に埋込む方法(タイプ2)、(3)盛土のり表面に沿わせる方法(タイプ3)について検討した(図3)。なお、BOTDR計測器のゲージ長は2mである。

タイプ1は、光ファイバセンサの伸び剛性と検知精度を比較するためにナイロン被覆光ファイバ(伸び剛性4.9N/mm/m)、被覆付きケーブルに光ファイバを貼付したもの2種類(伸び剛性49及び490N/mm/m)、塩化ビニル樹脂板(伸び剛性98N/mm/m)の4種類を使用した。光ファイバ埋設の深さは盛土天端から400mm及び800mmの深さとし、それぞれ、予張力(0.05%)を有する光ファイバ(ピット壁面に固定)と、

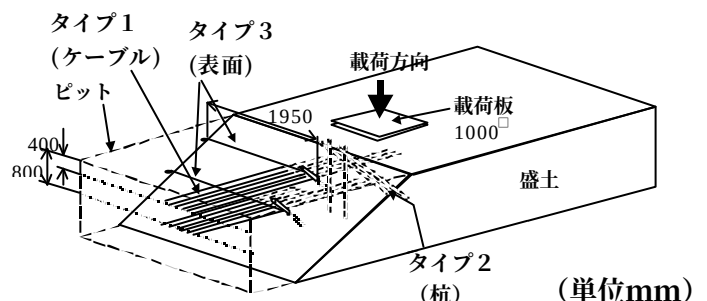


図1 ピット内の盛土と光ファイバセンサの設置

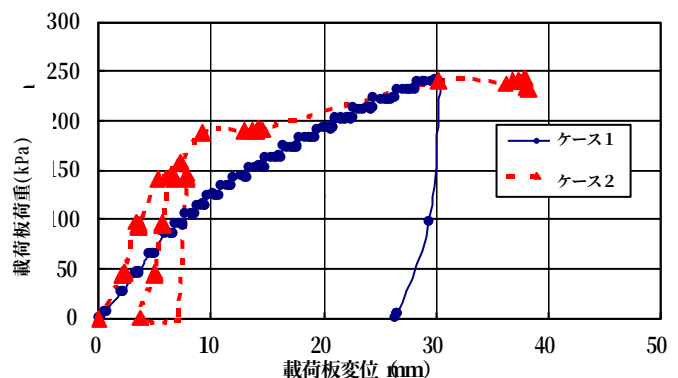


図2 载荷板荷重—変位図

キーワード：光ファイバ、ひずみ分布、保守・管理、土構造物、計測

* 〒231-8715 横浜市中区錦町12

TEL 045-629-1408

FAX 045-629-1418

張力無しの光ファイバの2種類の設置方法を用い計測精度を比較した。塩ビ板については予張力(0.2%)を与えた光ファイバをエポキシ樹脂で固定した。また、塩ビ板にはひずみゲージを上段には28点、下段には9点貼付け、計測精度を比較した。

タイプ2は、直径18mmの塩ビのパイプを用い、光ファイバを内面に固定した。光ファイバの固定方法として、全長をエポキシ樹脂で固定する「全面接着」方式と、1.5および1.8mの間隔で部分的に固定する「定点接着」方式を比較した。何れも予張力(0.2%)を加えた状態で固定している。また、杭先端には、光ファイバの折り返し部分を保護するために保護筒を取付けた。

タイプ3は、光ファイバをピット側壁に設けた固定点とのり面に設置した杭先端の間に予張力(0.2%)を加えて固定し、のり面の移動による2点間距離の変化を検出する方式である。

3. 試験結果

3.1 試験状況

載荷板Aを使用して、荷重制御で245kPaまで載荷し、載荷板変位30mmとなったが明確な破壊は発生しなかったため一旦除荷し、地表面の変形を整形し、載荷板Bにより再載荷を行った。196kPa程度から地表面にクラックが生じ、245kPaで載荷板の後縁(のり肩より700mm位置)から盛土のり面の中腹部に至る円弧すべりが生じた。

3.2 水平埋込み光ファイバによるひずみ計測結果

盛土天端から深さ400mmの位置に埋込んだ塩ビ板のひずみ計測結果を図4および図5に示す。

両者とも載荷板直下のひずみが大きくなり、ひずみ分布形状は類似している。また、載荷に伴うひずみ増大傾向も類似している。

載荷重196kPaの光ファイバセンサによるひずみ計測値では、載荷板の両縁でひずみが引張から圧縮に変化している領域から見られ、こうした局所的な計測値変動については今後検討が必要である。

4. あとがき

光ファイバによるひずみ計測について試験概要と試験結果の一部を紹介したが、今後、土構造物への適用に向けて開発を進めていく所存である。

参考文献 (1) 杉村・井上・開ほか、溶接学会溶接構造シンポジウム'97講演論文集、(1997-11)

表1. 盛土材物性

粒 度 特 性	礫 分 (%)	18.3
	砂 分 (%)	75.4
	細 粒 分 (%)	6.3
	均等係数	13.0
	曲率係数	3.0
土粒子の密度 (g/cm^3)		2.664
土質分類		SG-F
最大乾燥密度 (g/cm^3)		1.938
最適含水比		11.9

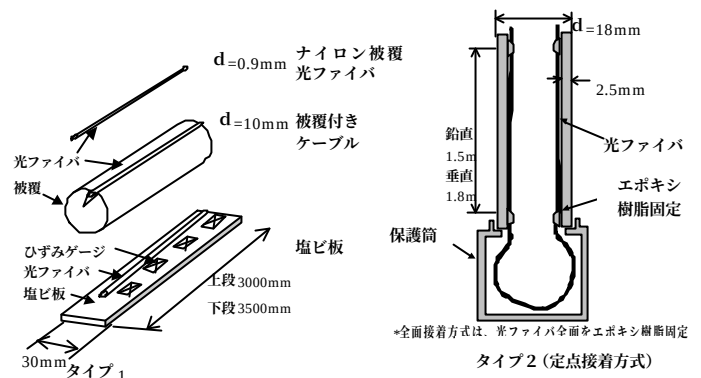


図3 光ファイバセンサ構造概要図

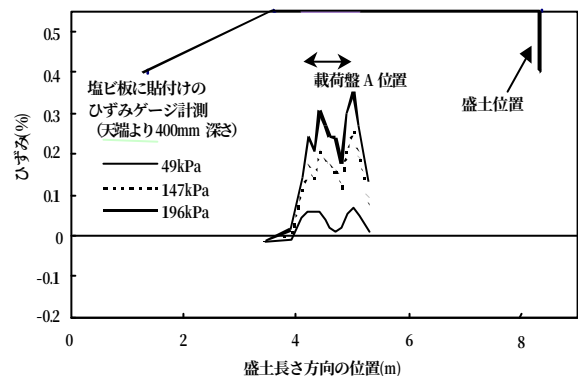


図4 ひずみゲージによる塩ビ板ひずみの計測結果

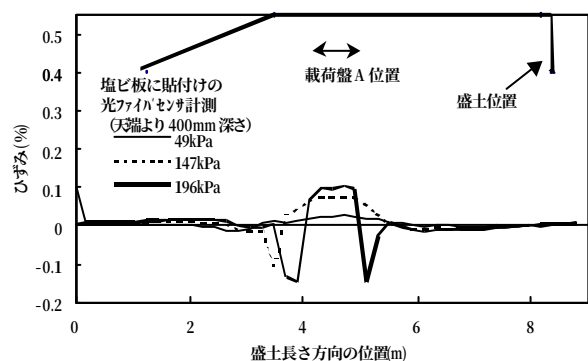


図5 光ファイバセンサによる塩ビ板ひずみの計測結果