

光ファイバを用いた3D 地中変位計測技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○中島拓巳 永谷英基 今井道男 川端淳一
ニューブレクス(株) 非会員 山内良昭 岸田欣増

1. はじめに

光ファイバセンサは温度とひずみの変化に反応する特性があり、温度がほぼ一定の地盤内であれば、ひずみ変化のみを検知し、得られたひずみの変化量を用いて、固定部から積分し変位を算出できる。近年、技術革新によって光ファイバ計測器の精度と速度が向上しており、筆者らは光ファイバセンサを用いた新しい地中変位計測手法の開発を進めている¹⁾。従来の技術では、地中に光ファイバを設置する場合、ある程度の剛性を有する棒状のガイド管に光ファイバを貼り付けて地中に設置していた。ただし、地中への設置時に、ガイド管が長くなるほど、ガイド管自身が回転してしまう可能性があり、ひずみの発生方向が分からなくなるという課題があった。そこで、自身のねじれと変位量を3次元で算出できる光ファイバを用いた地中変位計（以下、3D 地中変位計と呼ぶ）を開発したので、その概要と計測試験結果を報告する。

2. 技術概要

3D 地中変位計は、棒状の母材に螺旋状に編み込んだ光ファイバ6本を使用している。内層・外層ともに光ファイバは中心から120度に円を3分割した位置にあり、光ファイバは3本とも同じピッチで編み込んでいる。螺旋巻きの母材周方向は内側と外側で逆向きになっており、それらの光ファイバで計測したひずみから、母材のねじれと3次元での曲げひずみを計測できる。これを母材片端の固定端から積分することで、母材のねじれと3次元の変位を算出できる。3D 地中変位計の概観と内部構造を図-1, 2に示し、変位算出フローを図-3に示す。



図-1 3D 地中変位計概観

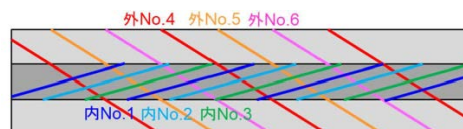


図-2 3D 地中変位計内部構造

3. 計測試験概要

図-4 に試験装置の概要を示す。3D 地中変位計(全長約4.5m)の両端には融着点や終端処理部を保護するために250mmの金属キャップを装置し、その金属キャップ両端を、50mmの半円治具で上下を挟み込むように固定した。3D 地中変位計の中心部には載荷できる治具を取り付けた。また、3D 地中変位計の全長にわたりレーザー変位計による計測点を15点設けた。3D 地中変位計の中心部を下方に2.5mmステップで40mmまで載荷し、各ステップでレーザー変位計と光ファイバによるひずみ計測を行い、変位量を算出した。

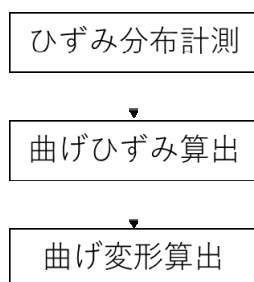


図-3 変位算出フロー

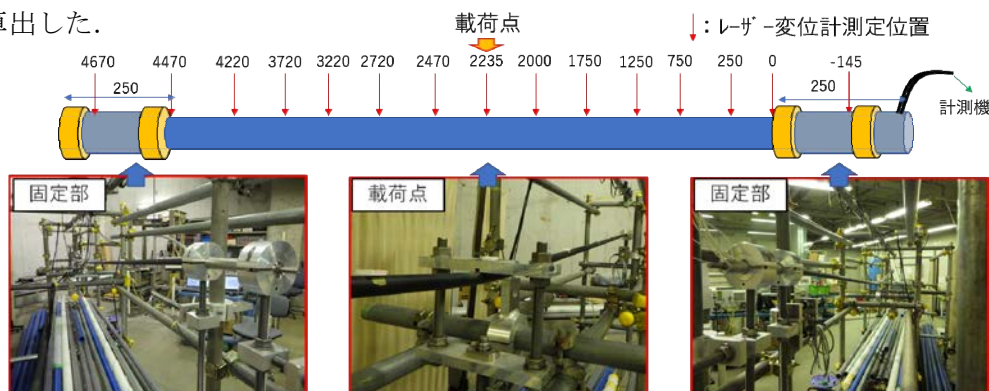


図-4 試験概要

キーワード 地中変位, 分布型光ファイバ, レイリー散乱

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6490

4. 試験結果

図-5 と図-6 に、3D 地中変位計の中心部を 5mm と 40mm まで載荷した時の外層 3 本の光ファイバによるひずみ計測結果を示す。5mm までの載荷時と 40mm までの載荷時では、どちらも最大曲げひずみ増分が $100\mu\epsilon$ 程度と計測できた。また、最大曲げひずみ増分が計測される載荷点以外の部分では、どの位置でもひずみ増分が概ね一定値を示す挙動が確認できた。これは、今回の試験条件では、どの載荷ステップにおいても、弦の曲げ変形のように載荷点周辺以外は一定の引張力のみが作用する状態になっているためと考えられる。また、今回光ファイバは同ピッチで螺旋巻きになっているため、3 本のひずみ計測結果の周期は一定の間隔でずれている。図-6 では、1 本の周期は巻きピッチと同様になっていることを示している。また、3 本の周期の差は巻きピッチ長の約 $\frac{1}{3}$ になるため、3 本のひずみ計測結果最大値の発生位置はこの間隔になっていることを示している。これらの結果から、3D 地中変位計は載荷時による変形に追従し、ひずみ計測ができていると考えられる。

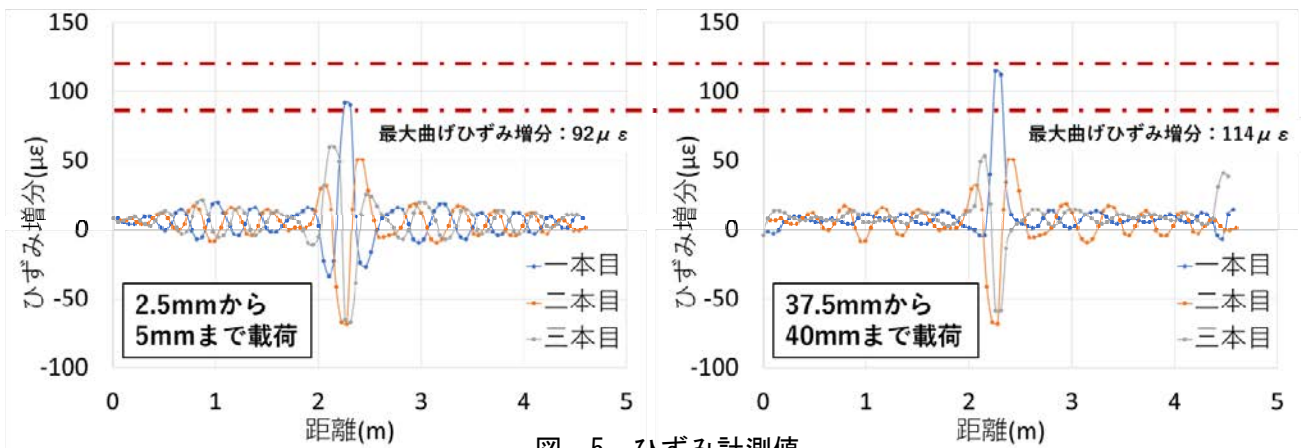


図-5 ひずみ計測値

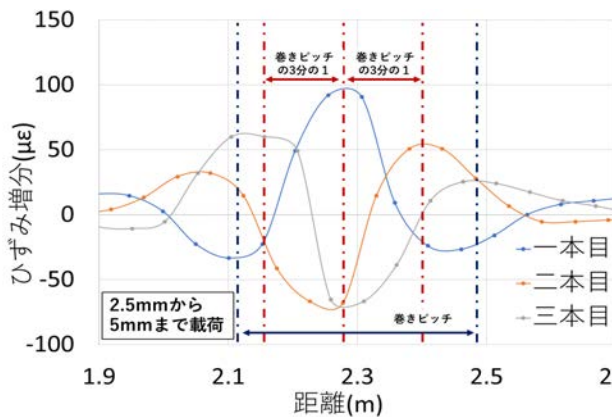


図-6 ひずみ計測値 (拡大図)

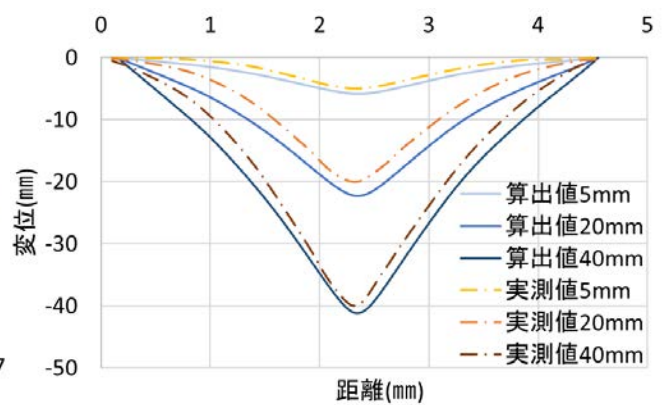


図-7 変位算出値

図-7 にひずみからの変位算出値とレーザー変位計による実測値を示すが、変位算出値と実測値が一致することを確認できた。表-1 には最大の変位算出値ならびに実測値と、その差分を示すが、全ての載荷時で差分は 2mm 以内に収まった。

表-1 計測結果

実測値(mm)	算出値(mm)	差分(mm)
-5.0	-5.8	2.0
-20	-22	2.0
-40	-41	1.0

4. おわりに

以上の実験により、新たに開発した 3D 地中変位計によって載荷による変形に追従しひずみ計測ができることを確認した。また、変位量に関しても、ひずみからの変位算出値とレーザー変位計による実測値が一致することを確認した。今後は実工事への適用を進めていく所存である²⁾。

参考文献

- 1) 辻ほか：光ファイバを用いた高精度な地中変位計測の実験的検証，土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，CS9，2020。
- 2) 永谷ほか：シールド工事における地中変位リアルタイム可視化技術の適用事例，土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会(投稿中)。