

光ファイバセンサによる斜面 3 次元変位解析手法に関する一考察

西松建設（株） 正会員 森山健太郎
 関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重
 関西大学大学院 学生員 ○牧 祥司

1. まえがき

近年、斜面災害に対する防災対策として、高精度な斜面のモニタリング手法の確立が必要となっている。光ファイバセンサ（BOTDR 型）は、斜面の微小な変位を高精度で面的に捉えられる等の有用性が従来の¹⁾によって証明されている。本研究では、光ファイバセンサによるモニタリングシステムをより高精度ものとするため、3 次元的な斜面挙動の把握及び、実際の地すべり斜面における光ファイバセンサの適用に関して検討を行った。

2. 斜面への光ファイバセンサ敷設手法

図.1 は実斜面への光ファイバセンサの敷設イメージである。この敷設手法は、変位点を B 点とし、その周囲に 3 点の固定点 A, C₁, C₂ を設けている。従来提案していた単純な V 字型配置と比較し、固定点を 2 箇所から 3 箇所に増やすことで、3 次元的な変位解析が可能となる。図.1 の点 B は点 B の変位後の位置を示している。

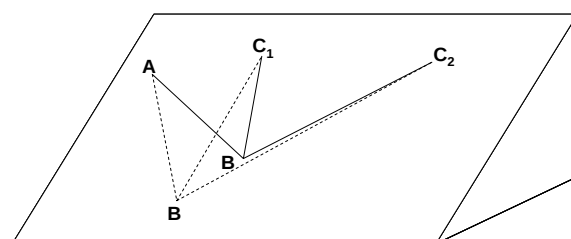


図.1 実斜面への敷設イメージ

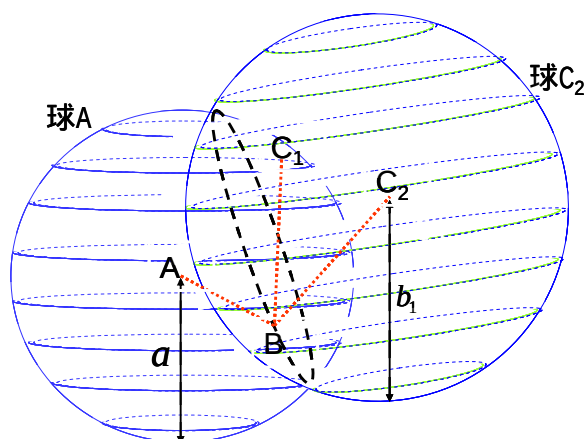
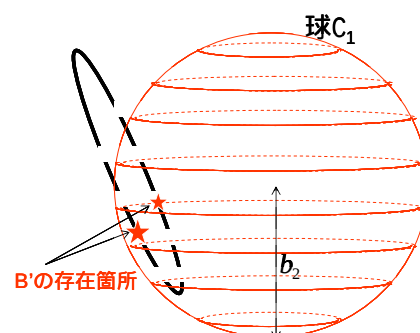
3. 3 次元変位解析手法

光ファイバセンサ敷設段階において固定点 A, C₁, C₂ および変位点 B の三次元座標をそれぞれ、 $A(0,0,0)$ 、

$$C_1(x_1, y_1, z_1), C_2(x_2, y_2, z_2)$$

$$B(x_b, y_b, z_b) \text{ とする。}$$

ここで、点 B が点 B へ変位したとすると、光ファイバセンサ AB を半径とする球 A と、光ファイバセンサ C₂B を半径とする球 C₂ の共有範囲は、図.2 の破線で示された円になる。さらに、この円と、光ファイバセンサ C₁B を半径とする球 C₁ との共有点を求めると、図.3 に示される、2 箇所の点に限定されることになる。解の算出には以下の (1) ~ (3) の球の方程式を用いる。また、変位後の点 B の解の存在領域を限定することで、最終的に点 B の座標は 1 点に絞られる。

図.2 球Aと球C₂の共有範囲図.3 球A、球C₁、球C₂の共有点

$$\text{球A: } x^2 + y^2 + z^2 = a^2 \quad (1)$$

$$\text{球C}_1: (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = b_1^2 \quad (2)$$

$$\text{球C}_2: (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = b_2^2 \quad (3)$$

キーワード：光ファイバセンサ、BOTDR、モニタリング、斜面、3 次元

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 06-6368-0837

4. 3次元引張圧縮試験

4.1 実験概要

図.4のような引張圧縮試験装置を用いて、提案した3次元変位解析手法の実証実験を行った。座標軸は、図.4に示すようにX軸、Y軸を設定し、紙面に垂直方向をZ軸とした。点B₁～B₄は同一の変位板に固定されており、それぞれが同様の変位をする装置となっている。また、理論上固定点は3つあれば3次元座標を特定することが可能であるが、より実験の信頼性を高めるため4つの固定点を設けることとした。さらに、温度による影響を考慮するため、2箇所に温度補正帯を設けている。なお、実験で用いた光ファイバセンサは4心型のテープ心線で、4心中No.1～No.3の3心を用いて計測を行った。

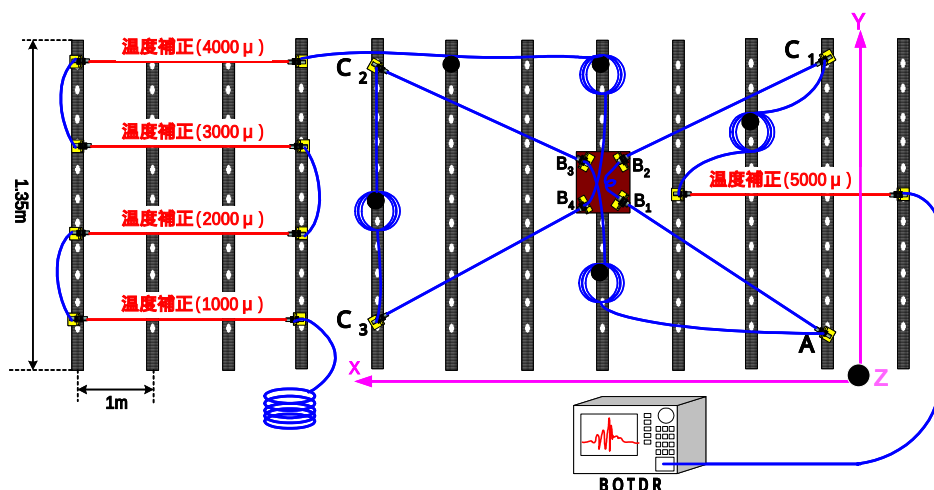


図.4 3次元引張圧縮室内実験

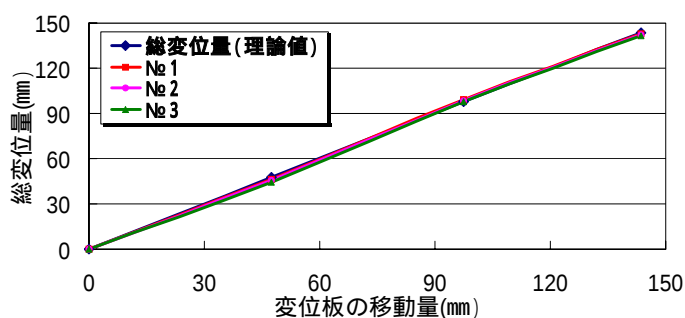


図.5 引張方向の理論値と実測値との比較

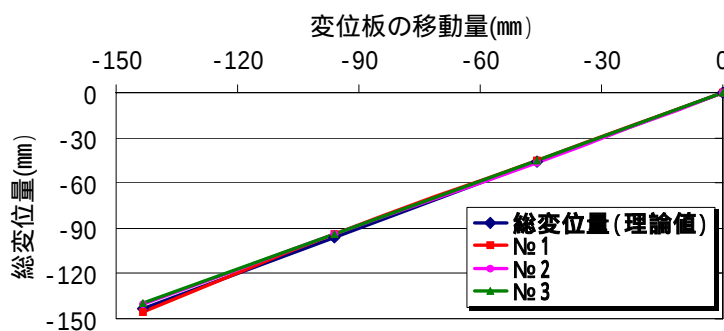


図.6 圧縮方向の理論値と実測値との比較

図.5は、引張方向の光ファイバセンサと理論値の総変位量比較を示したものである。変位板の変位量が大きくなるにつれて、理論値との誤差が大きくなる傾向が見られたが引張方向ではその誤差が最大 2mm 程度であり、精度の良い結果が得られた。

図.6は、圧縮方向の光ファイバセンサと理論値の総変位量比較を示したものである。圧縮方向ではその誤差は 4mm 程度であり、引張方向と比較して精度の落ちる結果となった。この原因として本来、中心部分の変位点は1点にすることが理想的ではあるが、今回は4点に分散させて実験を行ったためであると考えられる。

次に、温度補正をしたものと、していないものとの比較では温度補正をしたものの方が誤差量のばらつきが小さいことが確認できた。以上のことより、球の方程式を用いた3次元解析手法において、その有効性が認められ、今後現場においても、この解析手法を用いることで高精度のモニタリングが実現できると考えられる。

参考文献

- 1) 楠見、成田、前田、川端、小熊：光ひずみセンサのV字型敷設による岩盤斜面のモニタリング手法,第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集,岩の力学連合会,2002.1.