

関西大学大学院 学生員 ○成田 一真
住友電気工業 (株) 藤枝 敬史
関西大学工学部 正会員 西田 一彦

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重
住友電気工業 (株) 佐藤 浩二

1.はじめに 本研究は、光ひずみセンサをラインセンサとして利用することによって、岩盤斜面のモニタリングに適応することを試みた。特に、岩盤斜面の変位を精度良く把握するための敷設方法を提案するとともに、その敷設形態と岩盤斜面の変位およびその方向との関係について、基礎的に考察するために、主として室内実験によって検討したものである。

2.光ひずみセンサの基本原則 光パルスファイバに注入すると、ファイバの至る所から後方散乱光が帰ってくる。図.1は散乱光の周波数分布であり、最大のレーリー光の両サイドに散乱光のピークが2つ現れる。そのピークの1つがブリルアン散乱光であり、ファイバのひずみによって発生周波数がシフトする特性を有している。また、図.2は、ブリルアン周波数シフトのひずみ依存特性であり、光ファイバに生じたひずみに比例して変化することがわかる。その関係は次式で表される。

$$\lambda(\varepsilon) = \lambda B(0) \times (1 + K \times \varepsilon) \dots (1)$$

$\lambda(\varepsilon)$: 実測のブリルアンスペクトルの最大レベル周波数,
 $\lambda B(0)$: 光ファイバの固有ブリルアン周波数シフト, K : ひずみ係数 ($K=4.78$), ε : ひずみ量 (%)

3.V字型敷設法の基本特性 今までの研究において²⁾、単純な持ち上げ試験を行った結果、岩盤の変位方向によっては変位を検知できにくい方向があることが認められた。したがって種々の変化方向に対しても、光ひずみセンサによって岩盤の変位を検知できる敷設法を提案した。

図.3は光ひずみセンサを岩盤斜面上に、三角形敷設したときの模型実験の概略を示したものである。図に示すように、光ひずみセンサをVの字型に敷設し、A点が岩盤斜面における移動点、B点、C点是不動点とした。A点はX-Y-Z面に任意方向に移動させることにより、AB、AC間のひずみ量を計測する。ここで、A点の移動方向は、xy平面をx軸から時計回りの方向に角度 θ 、xy平面からz軸方向に角度 ϕ とすると、 θ と ϕ の組み合わせにより、その移動方向を表すことができる。これにより、A点の変位量から得られる理論値と計測データとの比較検討を行なった。ここで、理論値とは次式によって求められるひずみである。

$$\varepsilon_{AB} = \{ \sqrt{(l_0 + \alpha)^2 + \beta^2 + (h_0 + \gamma)^2} - \sqrt{h_0^2 + l_0^2} \} / \sqrt{h_0^2 + l_0^2} \times 100 \dots (2)$$

ε_{AB} : AB間のひずみ(%), l_0 : AB間の水平距離, h_0 : AB間の鉛直距離, (α, β, γ) : 移動点A'の座標

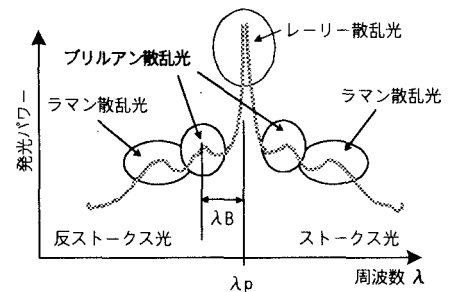


図.1 散乱光の周波数分布

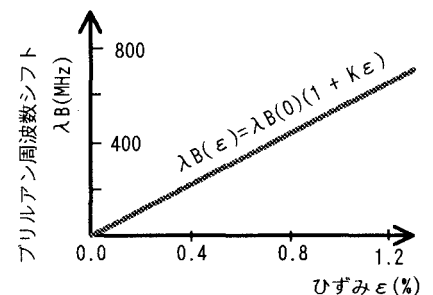


図.2 λBのひずみ依存特性例

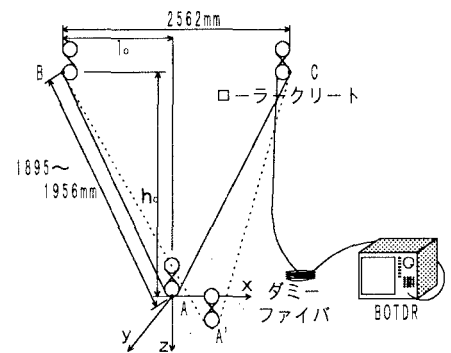


図.3 実験装置図

4.実験結果および考察 図.4 は、図.3 の A 点を $\theta = 90^\circ$ $\phi = 50^\circ$ 方向に変位させた場合の移動方向、図.5 はそのときの AB・AC 間のひずみ、図.6 は、図.5 における実測値から得られる変位量に対するひずみ誤差を示す。ここで AB 間のひずみ誤差 $\Delta \varepsilon_{AB}$ (%) とは次式で示される。

$$\Delta \varepsilon_{AB} = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} / AB \times 100 \cdots (3)$$

図.5 より、光ひずみセンサから得られる伸びひずみは、ほぼ等しく得られ、理論値ともほぼ一致することが認められる。また、図.6 よりひずみ誤差は、 $\pm 0.1\%$ 以下であり高い精度を有することがわかる。図.7 は、図.3 の A 点を $\theta = 60^\circ$ $\phi = 50^\circ$ 方向に変位させた場合の移動方向、図.8 には AB 間の実測値、図.9 には AC 間の実測値を示す。この方向については、AB 間と BC 間では、図.4 の条件とは異なり、ひずみ量が同一とはならない移動方向である。図.8 より、AB 間については実測値と理論値はよく一致している。それに対して、図.9 に示すように AC 間のひずみは理論値曲線とはかけ離れた値になっている。これは、A 点における光ファイバとローラーの接点がずれて、それによりこのような誤差が生じたものと思われる。しかし、AB 間のひずみは理論値曲線に一致していることから、事実上大きな問題は無いと考えられる。

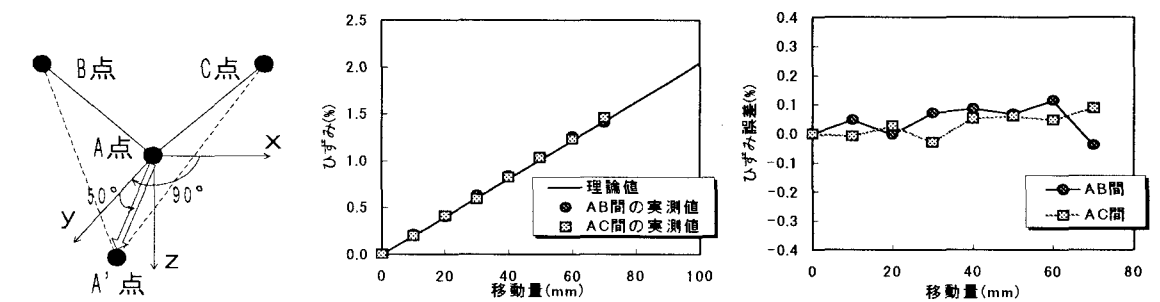


図.4 $\theta = 90^\circ$ $\phi = 50^\circ$ の移動方向 図.5 実験結果 図.6 移動量に対するひずみ誤差

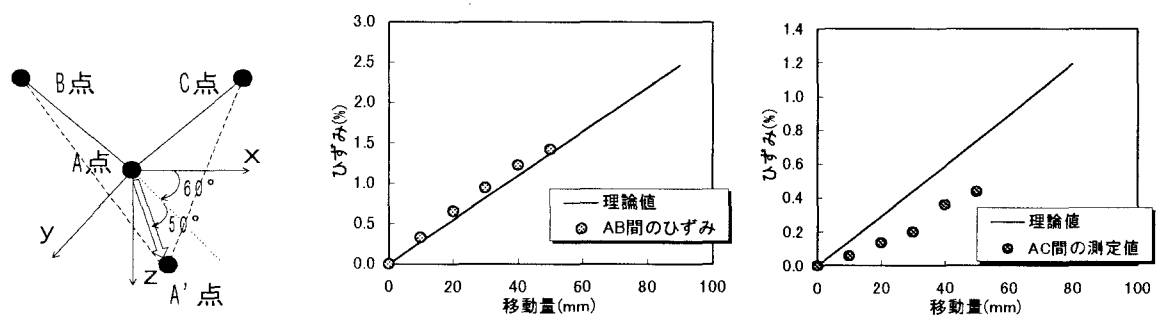


図.7 $\theta = 60^\circ$ $\phi = 50^\circ$ の移動方向 図.8 AB間の実測値と理論値 図.9 AC間の実測値と理論値

5.まとめ 光ひずみセンサは、微小の移動量についても高精度で検知できることが認められ、岩盤斜面の動態監視手法として十分利用できることが確認された。光ひずみセンサの敷設方法としては、直線状と三角形状を比較すると後者の方が種々の方向に対する岩盤の変化を捉えることが可能である。また、水平より下方に移動する場合には、少なくとも一方のファイバにはひずみが発生することから、岩盤斜面に対しては十分適応可能であることが認められた。

《参考文献》1)倉嶋利雄，田中郁昭，薄 知規：光ファイバを用いた歪分布計測，第 28 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.378-382,1997.

2)齊藤浩之，楠見晴重，藤枝敬史，向瀬光雄：光ひずみセンサによる岩盤斜面の動態観測に関する手法に関する研究，第 29 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp280-284,1999.