

岩盤構造物を対象としたレーザドップラ光ファイバセンサの適用性について

電源開発株式会社	正会員	池田 典之*
電源開発株式会社		棚瀬 大爾**
東京大学 工学部	正会員	影山 和郎***
日特建設株式会社	正会員	田仲 正弘****
株式会社レーザック	正会員	本間 誠*****

1. はじめに

東京大学工学部教授影山和郎グループ（知的複合材料構造工学研究室）が開発したレーザドップラ光ファイバセンサ¹⁾（以後LDVセンサと呼ぶ）は、従来の光ファイバケーブル計測技術（温度やひずみ計測等）に、新たに音響や振動計測技術を付加したもので、1本の線で音響・振動・ひずみ速度の測定が可能となり、岩盤構造物の安全性や維持管理において品質の高い、有益なモニタリング手法として期待される。この音響や振動計測技術は従来の圧電素子型のセンサと測定原理を異にする新しい手法である。今回は、LDVセンサの測定原理と、圧電素子型のAEセンサと性能を比較した結果について以下に報告する。

2. LDVセンサの特徴と測定原理

LDVセンサは、光ファイバをセンサおよび導光路として用いることから軽量で可とう性がある。高い材料強度を有する。耐熱性が強い。電氣的ノイズに強い。耐食性と耐久性に優れているなどが挙げられる。また、現在汎用されている圧電素子型と比べると経済的である。

測定原理は、一定の周波数を持つレーザー光を光ファイバに連続的に入射し、その光ファイバセンサを固体に接着固定することで、被計測媒体内を伝播する弾性波等との相互作用により生ずる光波のドップラシフトによる周波数変調で、ひずみ速度・振動・音響を計測するものである。光ファイバ内の光はコア、クラッド界面で全反射の繰返しで伝播するが、伝播する光を1本のビームとして考えると、図1の(a)のように直線状のファイバが振動により速度成分を受ける場合は、ドップラ効果は生じない。一方、同図の(b)のように湾曲させた光ファイバが速度成分を受ける場合はドップラ効果が生じ、周波数がシフトする。

上述した原理の周波数変化をLDVセンサで計測する。LDVセンサは、異なる周波数の2つの光波を干渉させ差周波信号（ビート信号）をヘテロダイン方式により検出する方式で、湾曲させたセンサ部の形状としては、写真1に示すように、光ファイバを周回させループ（円）状にしたものである。また、この周回数を多くすることで、感度の向上が可能になる。

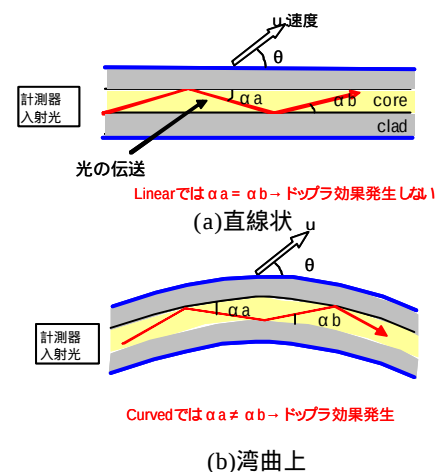


図1 LDVセンサの原理

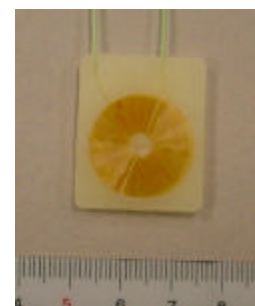


写真1 LDVセンサ

キーワード：光ファイバ、AE、ドップラ効果、モニタリング

連絡先：	*〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1	TEL03-3546-9606	FAX03-3546-9423
	**〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88	TEL0467-87-1211	FAX0467-82-4003
	***〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1	TEL03-5841-6515	FAX03-3815-8364
	****〒270-1153 千葉県我孫子市緑 1-1-3	TEL0471-81-2700	FAX0471-81-2727
	*****〒100-0005 東京都千代田区丸の内 1-5-1	TEL03-5841-2337	FAX03-5841-2337

3. L D Vセンサと圧電素子型 A E センサの比較

L D Vセンサの適用性を確認するために、花崗岩試験片を用いた一軸圧縮試験時に L D Vセンサと A E センサ（150kHz 共振型）の両者で A E 波形を観測した。

3.1 試験方法

L D Vセンサと A E センサは、 $30 \times 30 \times 90\text{mm}$ の角柱形の花崗岩試験片に写真 2 のように瞬間接着剤で貼り付け、その対面には発振用の A E センサを別途取り付け、この発振用センサの使用目的は岩石の弾性波速度を両者のセンサで比較するために取り付けた。

図 2 に測定システムを示す。同図をみてわかるように L D V は極めて感度が高いため、A E のように増幅を行う必要はない。

3.2 試験結果

(1) 弾性波波形

図 3 に花崗岩試験片の弾性波波形を示す。同図の上 2 つの波形は両者のセンサでの受振波形、最下段は発振波形（パルス波形）で、これらの図の横軸が時間、縦軸が振幅値を示す。これらの図は、感度比較ができるように A E センサの観測波形を増幅分を除して表示している。この結果をみてわかるように、両者の受振波形は振幅値、周波数、波形持続時間においては同様な傾向がある。しかし、バックグラウンドノイズについては L D V の方が A E より高く（L D V : A E = 10 : 1）、S N 比が悪い結果となっており、今後、改善する対策を講じる必要がある。

(2) A E 波形

図 4 には、載荷中に両者のセンサで観測された波形を示す。この波形は、破壊近傍で観測されたものである。同図より、L D V センサの観測波形の持続時間は $70 \mu\text{s}$ 程度で、最大振幅値も認められるのに対して、A E センサの方は $500 \mu\text{s}$ 以上持続し、波形も振り切っている。後者はセンサ特性である共振点の影響を受けているのに対して、前者はセンサ特性の影響が少ないものと類推されることから、L D V は原波形に近いものを捉えられる可能性がある。

4. おわりに

湾曲部を有することを特徴とする新規に開発された光ファイバセンサは、S N 比の改善やセンサ特性などの検証を行う必要性はあるが、センサ特性の影響が少なく原波形に近い波形を観測している可能性もあることがわかった。また取り扱いについても圧電素子型の A E センサと同様に容易であった。今後、さらに開発と検証試験を行い、岩盤構造物の安全監視等のモニタリング技術としての適用性を高めていきたいと考えている。

〔参考文献〕

影山和郎他：レーザドップラ光ファイバセンサによる AE 波検出の試み、日本機械学会第 75 期通常総会公演論文集（ ），pp94-95、1998

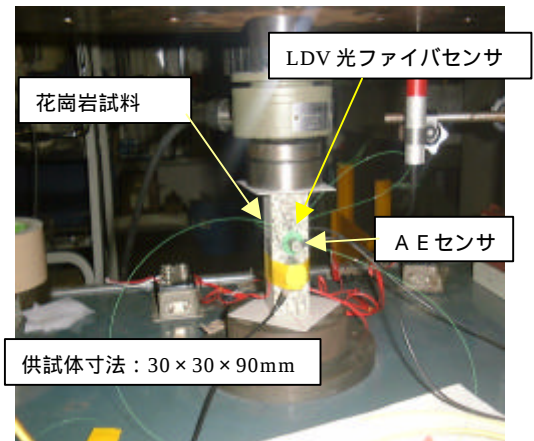


写真 2 一軸圧縮試験状況

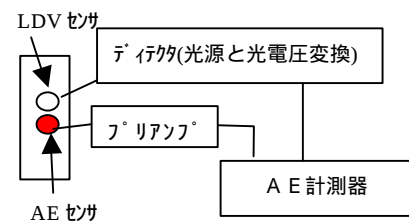


図 2 測定システム

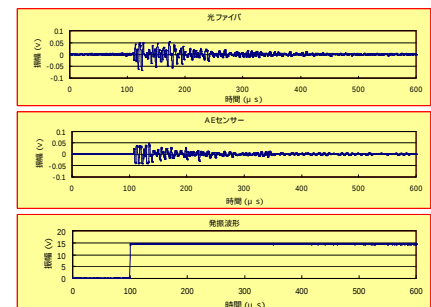


図 3 弾性波速度測定結果

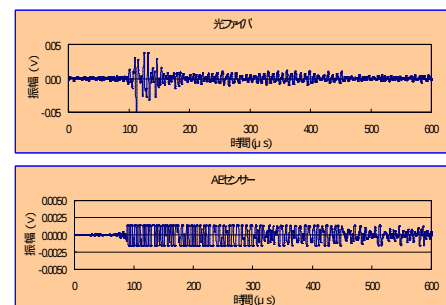


図 4 一軸圧縮載荷中の観測波形