

## 光ファイバ振動センサを用いた岩石三軸圧縮試験時の AE 測定

鹿島建設(株)	正会員	岩野 圭太
鹿島建設(株)	正会員	森 孝之
(株)レーザック	正会員	田仲 正弘
(株)レーザック	正会員	本間 誠
日特建設(株)	正会員	竹原 真希

### 1. はじめに

岩石の強度特性を求めめるために行われる岩石三軸圧縮試験時に AE (Acoustic Emission) を測定することで、岩石の破壊状況をより詳細に把握することが可能となる。しかしながら、三軸圧縮試験の構造上、岩石供試体に直接 AE センサを設置するのは難しいことが多いため、供試体上下端の載荷盤などを介して AE を測定しているのが現状である。硬岩などでは、このような設置方法でも供試体内部から発生する AE を問題なく測定することができるが、軟岩では硬岩に比べ距離減衰が大きいいため、十分に AE を測定できるとは言いがたい。

近年開発された光ファイバを利用した光ファイバ振動センサ（略称：FV センサ）は、圧電素子型の AE センサと同等の性能を有しており、厚さ 1mm、直径 20mm と薄型軽量で、さらに可撓性を有する。そのため、センサをひずみゲージのように供試体に直接設置して三軸圧縮試験の実施が可能となる。今回は、堆積軟岩の三軸圧縮試験時に FV センサと圧電素子型 AE センサ(以下 AE センサ)の両方で AE を測定した。

### 2. FV センサの測定原理

光ファイバ線の一部を被計測物に固着して、その一端から光波を発した場合、光ファイバ内のレーザ光は、コアとクラッドの境界で全反射を繰り返しながら伝搬する。そして、被計測物が振動すると、固着部のファイバ(センサ部)もその振動に併せて伸縮する。

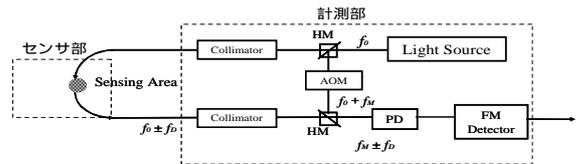


図 1 周波数変調システム

この光ファイバが伸縮する際に、ファイバ内のドップラ効果により周波数変調が生じる。その現象を影山ら<sup>1)</sup>は、式(1)のように示した。 $f_d$ はセンサ部における周波数変調、 $\lambda$ は光波の波長、 $dL/dt$ は光ファイバの変位速度である。

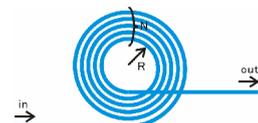


図 2 ループ型 FV センサ模式図

$$f_d = -\frac{1}{\lambda} \frac{dL}{dt} \quad (dL \text{ は変化長}) \quad (1)$$

式(1)に示すように、周波数変調  $f_d$  と変位速度  $dL/dt$  は比例関係となる。FV センサはこの周波数変調  $f_d$  に比例する電圧  $V$  を出力するセンサであり、比例定数  $k$  を用いて次式で与えられる。

$$V = kf_d = -\frac{k}{\lambda} \frac{dL}{dt} = K \frac{dL}{dt} \quad \text{ここに } K = -\frac{k}{\lambda} \quad (2)$$

図 1 に周波数変化を検知するためのレーザドップラ振動計システムを示す。センサの形状はファイバ長を長くして感度を向上させるために、図 2 のように光ファイバをループ状にした。

### 3. FV センサの三軸試験器への設置方法

一般的な三軸圧縮試験機では、供試体に側圧をかけるのに油圧を用いて

写真 1 FV センサの設置方法



AE、岩石三軸圧縮試験、光ファイバ振動センサ、軟岩

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 0424-89-7081
	〒113-8656	東京都文京区本郷 7-3-1	東京大学工学部 3 号館内 (株)レーザック	TEL 03-5841-2337
	〒104-0044	東京都中央区明石町 13 番 18 号	日特建設(株)技術本部地質部	TEL 03-3542-9152

いるため、圧電素子型 AE センサを直接岩石供試体に取り付けることができない。そこで、AE センサは供試体の上下にある載荷盤にセットすることとなる。FV センサは、写真 1 に示すように直接供試体に貼付け、伝送用の 1mm の信号線は下部載荷盤に信号線取り出し孔を開け、この穴から信号用ファイバを三軸セル外部へと導き出し、その後に油漏れが生じないように、この穴に石膏を流し込み閉塞した。また、試験前に油から保護するためのゴムスリーブを供試体に被せることとなるが、供試体に貼り付けた FV センサの凹凸は小さく、ゴムスリーブを容易に装着することができる。

#### 4. 三軸圧縮試験時の AE 発生状況

三軸圧縮試験での FV センサの適用性を確認するために、FV センサと AE センサで堆積軟岩供試体を用い三軸圧縮試験時の AE 計測を行った。

##### 4.1. 試験方法

FV センサは写真 1 に示すように供試体（50mm・長さ 100mm の円柱形）の中央部に瞬間接着剤で直接貼り付けた。比較用の AE センサ(NF 回路ブロック製 AE901S、150kHz 共振型)は上部載荷盤内にセットした。測定システムの概要を図 3 に示す。三軸圧縮試験は、側圧を 6MPa とし、軸圧は載荷速度 0.05mm/分のひずみ制御で行った。

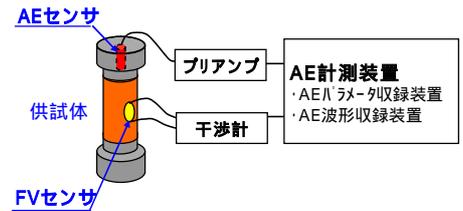


図 3 三軸 AE 計測システム

##### 4.2. 試験結果

###### 1) 観測波形

三軸圧縮試験時の破壊直後に両者のセンサで捉え、波形の形状を比較しやすいように最大振幅値で除した観測波形を図 4 に示す。この図において AE 波が先に到達した FV センサと AE センサとの初動到達時間差が 12  $\mu$  秒であることから、AE は供試体中央付近で発生したものと推定される。そして、FV センサと AE センサのそれぞれの波形を比較すると、AE センサは載荷盤にセットしているため載荷盤の側面や端面などからの反射の影響を受け最大振幅値以降の減衰状況が若干異なっているものの、波形全体ではほぼ同様な形状であることがわかる。

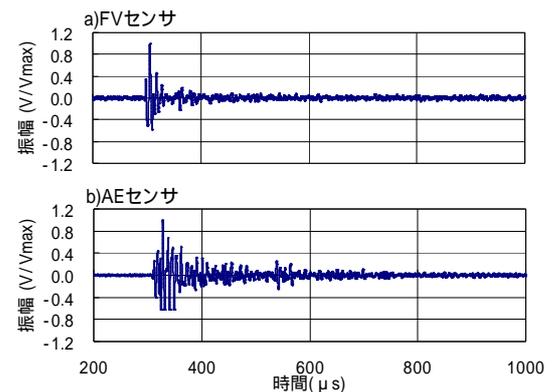


図 4 破壊直後の観測波形

###### 2) AE 発生状況

破壊に伴う AE 発生率の変化を図 5 に示す。これらの図から、軸差応力がピーク直後からのほぼ同じ時点で AE 発生率の増加が認められるなど同様な傾向であることが確認されたが、発生率をみると、FV センサの方が AE センサより多い結果となっている。FV センサの発生率が高いのは、センサを供試体中央部に設置することで、破壊時に供試体中央部から発生する AE 波を確実に捉えたものと言える。

#### 5. おわりに

薄型で可撓性のある FV センサを供試体に直接設置することで、供試体中央部からの AE を感度良く測定することができ、この計測方法は堆積軟岩などのような距離減衰が著しい岩石での三軸圧縮試験には有効であることがわかった。今後さらに検証試験を行い、三軸圧縮試験の適用性や測定の信頼性を高めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 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 期通常総会講演会講演論文集；1998 年 3 月
- 2) 田仲他；新しい光ファイバ振動センサの岩盤工学分野への適用性に関する基礎的検討；第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム；2005 年 1 月

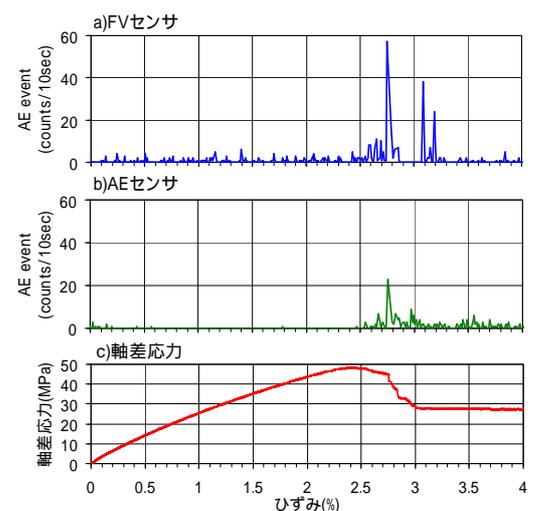


図 5 三軸試験結果