堆積岩を対象とした光ファイバ振動センサによるＡＥ計測の感度試験

電源開発株式会社　正会員　江原　昌彦
電源開発株式会社　正会員　五月女　敦
電源開発株式会社　正会員　松本　匡司

１．はじめに

堆積岩を対象とし，光ファイバ振動センサ（以下ＦＶセンサ）を用いて一軸圧縮試験に伴うＡＥ計測を行った結果，ＦＶセンサにより花崗岩[1)]と同様に破壊過程におけるＡＥ波を計測できることを確認している[2)]．しかしながら，発生するＡＥ波は微弱であることに加え距離減衰が大きいため，ＦＶセンサを原位置へ適用するためには計測の感度を向上させる必要がある．ここでは，堆積岩における原位置でのＡＥモニタリングを目標にＦＶセンサの高感度化を検討するため，巻数の異なるＦＶセンサの感度試験を行った．また，巻数の異なるＦＶセンサ及び共振周波数の異なる PZT 型センサを用いた一軸圧縮試験も行いＡＥ計測結果を比較した．試験に用いた試料は，新第三紀鮮新世から中新世の堆積岩で新第三期珪質岩と呼ばれている．物理試験によると自然密度 20.0kN/m^3，湿潤密度 20.2kN/m^3，吸水率 20.5%，有効間隙率 34.3%であった．

２．ＦＶセンサの原理

ＦＶセンサの周波数帯域は数 Hz から数 MHz のオーダーに及び，現象として地震動レベルから岩石や金属のアコースティックエミッション（ＡＥ）までが対象となる広帯域特性が特徴の一つである．これまでの検討により，測定対象の振動波長に比べてセンサ径が十分小さい場合には（１）式が成立し，同一の歪速度に対してはセンサを構成する光ファイバ延長Ｌと光の周波数変化量 Δf ，すなわち感度が比例関係にあることが分かる．試験に用いた 100 巻，外径 35mm，厚さ 1mm 弱のＦＶセンサを写真１に示す．

$$\Delta f = -\frac{\pi \cdot f_0 \cdot n \cdot L}{c_0} \cdot \frac{d}{dt}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \qquad \cdots\cdots\cdots \quad （1）$$

ここに，　$L = \frac{r_1 + r_2}{2} \cdot N$ ，　Δf ：光の周波数変化量，f_0：光の周波数，c_0：真空中の光の伝播速度，n：導波路媒体（光ファイバコア）の屈折率，t：時間，N：センサの巻数，r_1，r_2：センサの内半径及び外半径，ε_1，ε_2：供試体表面の主歪

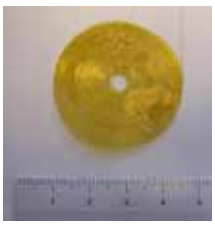

写真１　光ファイバ振動センサ(ＦＶセンサ)

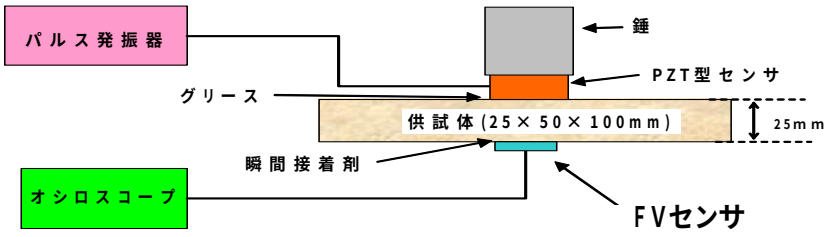

図１　ＦＶセンサ感度試験の概要

３．ＦＶセンサの感度試験

(1)試験方法

巻数を多くすると感度が向上することを定量的に把握するため，珪質岩を伝播する高周波弾性波に対して，ＦＶセンサで受振した場合の巻数と伝播弾性波振幅値の関係を求める試験を行った．ＦＶセンサの感度試験のシステムの概要を図１に示す．発振センサとして 30kHz，70kHz 及び 150kHz 共振型の PZT 型センサを順次交換して発振を行う．珪質岩の供試体（高さ 25mm×幅 50mm×長さ 100mm，V_P=2.5km/s）を３個用意し，受振センサとして 50 巻き，75 巻き，100 巻きのＦＶセンサを下面に貼付し，感度試験を行った．

キーワード　光ファイバ振動センサ，ＡＥ，堆積岩，一軸圧縮試験
連絡先　〒104-8165　東京都中央区銀座 6-15-1　電源開発株式会社　エンジニアリング事業部　ＴＥＬ03-3546-2211

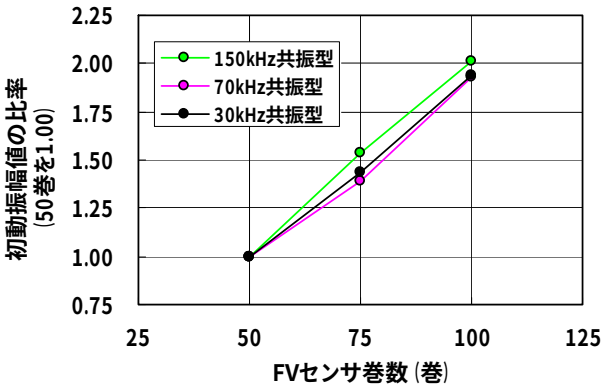

図２　ＦＶセンサの初動振幅値と巻数の関係

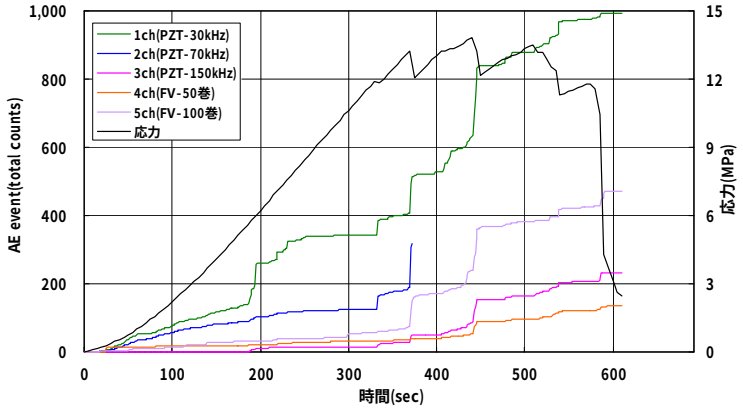

図３　ＡＥ発生累積数～時間・応力の関係

(2)試験結果

図２に各発振センサに対するＦＶセンサの初動振幅値とＦＶセンサの巻数の関係を示す．縦軸は各巻数のＦＶセンサで受振した初動振幅値の値を 50 巻の初動振幅値で割った値で基準化している．50 巻に比べて 75 巻の感度は約 1.5 倍，100 巻は約 2 倍となっており巻数が増えることにより感度が向上することを確認した．発振センサ 30kHz，70kHz，150kHz 共振型のいずれもほぼ同等な結果が得られており，発振波の周波数の影響はほとんどないことが分かった．

４．　一軸圧縮試験におけるＡＥ計測

(1)試験方法

感度試験と同じ珪質岩で角柱供試体（50㎜×50㎜×100㎜）を３個作成し，一軸圧縮試験時のＡＥをＦＶセンサ及び PZT 型センサで計測した．ＦＶセンサは 50 巻と，100 巻きの２個，PZT 型センサは 30kHz，70kHz，150kHz 共振型の３個，合計５個のセンサを配置した．

(2)試験結果

ＦＶセンサ及び PZT 型センサで計測したＡＥ発生累積数～時間・応力の関係の一例を図３に示す．この試験により得られた結果は以下の通りである．

- ここで用いた珪質岩の一軸圧縮強度は 12.6MPa，破壊歪は 0.79%であった．
- 破壊進行に伴うＡＥ計測では，20～400kHz の周波数帯のＡＥが計測された．
- PZT 型センサでは，相対的に 30kHz 共振型のセンサが最も多くのＡＥイベントを捕捉しており，次いで 70kHz，150kHz 共振型の PZT 型センサの順となっている．
- ＦＶセンサでは，100 巻のセンサが 50 巻のセンサよりも２倍以上のＡＥイベントを捕捉していることから感度試験の結果が裏付けられたと考えられるが，全体的には 150kHz 共振型の PZT 型センサよりは感度がよいものの，今回の試験条件では感度として 30kHz 共振型の PZT 型センサには及ばないことが判明した．

５．　おわりに

センサ感度と計測装置の検出能力を勘案した場合，今回の室内試験結果を踏まえると 100 巻のＦＶセンサのＡＥ検出範囲はセンサを中心とした半径約 30cm 程度のエリアと考えられる．従って，ＦＶセンサをフィールドでのＡＥ計測に適用する場合には，更なる感度向上を図るとともに，例えば坑道モニタリングに用いる場合にあってはセンサの適切な配置計画が重要であると考えられる．

参考文献

1)江原他，光ファイバ振動センサの開発，資源と素材，Vol.121，　pp．77-79，2005．
2)江原他，光ファイバ振動センサによる堆積軟岩のＡＥ計測，第 35 回岩盤力学に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ，2006．