

# レーザー変位計によって観測したベンダーエレメントの変形挙動の評価

秋田大学 学生会員 ○石川光甫, 正会員 荻野俊寛, 正会員 田口岳志  
 日本大学 正会員 西尾伸也

## 1. はじめに

ベンダーエレメント(BE)法は得られた受信波の理論的な解釈が十分でないため、S波速度の評価に課題が残されている。著者らはBE試験装置系が送信BE、土供試体、受信BEの3つの線形要素からなるという考えのもと、土供試体系の伝達関数を求め、これをS波到達時間の決定に用いることによりBE法の精度向上を目指しているが、そのためには送・受信BEの振動特性の把握が必要となる。本研究ではBEの振動特性をレーザー変位計およびセルフモニタリング

(SM)によるフィードバック電圧で直接・間接的に測定し結果を報告する。

## 2. 実験概要

実験にはサイズやセルフモニタリング部の位置が異なる3種類のセルフモニタリングベンダーエレメント(SMBE)を使用した(図-1)。また、SMBEはいずれもエポキシコーティングが施されている。各SMBEの固有周波数はSMBE1で5kHz、27kHz、SMBE2で36kHz、55kHz、SMBE3で37kHzである。実験は可動アームスタンドの先に取り付けた剛な金属板にBEを挟んで固定し、ファンクションジェネレータ(FG)より入力 $x$ としてスイープ波を送信し、SMBEの変位 $y$ をレーザー変位計で観測すると同時にフィードバック電圧 $z$ を測定するものである(図-2)。入力波、BE先端変位、フィードバック電圧はいずれもオシロスコープに入力される。また、レーザーヘッドは微動調整装置上に設置され、XYZ軸3方向に0.01mmの精度で調整が可能となっており、0.25~0.5mmピッチでヘッドを移動させて繰返し測定することで面的に観測を行った(図-1)。なお実験後、Ogino et al.<sup>2)</sup>の方法を用いて周波数5kHz~50kHzの1波長のsin波を入力した場合の変位 $y$ を計算した。なお計算にはMATLABを使用した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 BEの挙動

代表例としてSMBE1について、全300点の観測点のうち9つの代表的な点の観測結果を図-3、4に示す。まず、BE変位の実測値と計算値(図-4)はよく一致していることから計算された変位 $y$ の再現度の高さが確認できる。また、変位波形は幅方向にはほぼ等しく、先端に近いほど変位が大きくなっている。また、変位は減衰振動しており、入力波形(図-3)とは大きく異なっている。また、

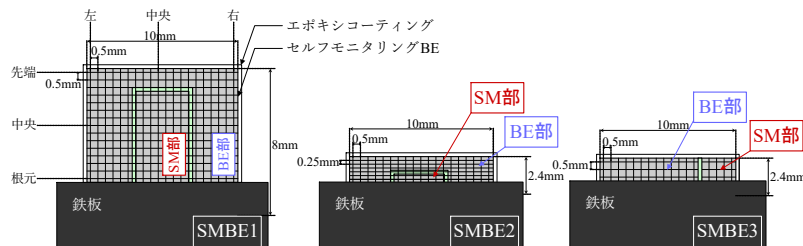


図-1 実験に用いた SMBE

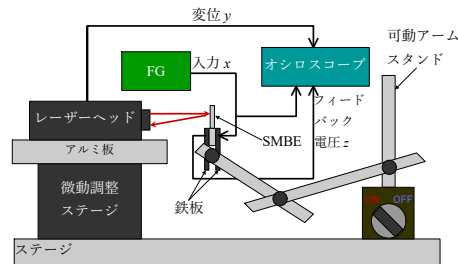


図-2 実験装置の概要

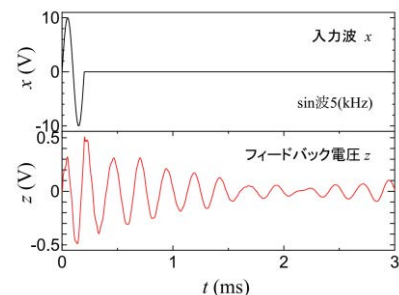


図-3 SMBE1 に対する代表的な入力波  $x$  とフィードバック電圧  $z$

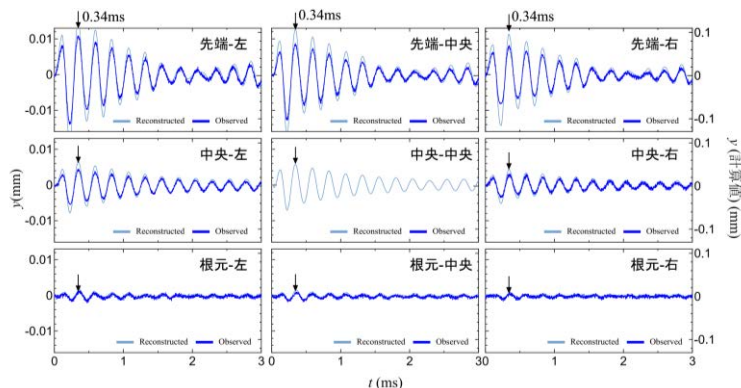


図-4 図-3 の入力波に対する各観測点の変位  $y$

フィードバック電圧  $z$  の波形は変位  $y$  とおおむね一致している。

図4 に示した各観測点の変位時刻歴を全ての観測点について合成することで、SMBE 全体の面的な変形の時刻歴を得ることができる。図-5～8 は各 SMBE のピーク変位時刻における変形を 3 次元で示している。図-5 は図-3, 4 の  $t=0.34\text{ms}$  における変形の様子であり、SMBE1 に一次の固有周波数に近い  $5\text{kHz}$  の  $\sin$  波を入力した場合の振動は一次モードであることがわかる。入力周波数が  $27\text{kHz}$  の場合(図-6), 長さ方向に

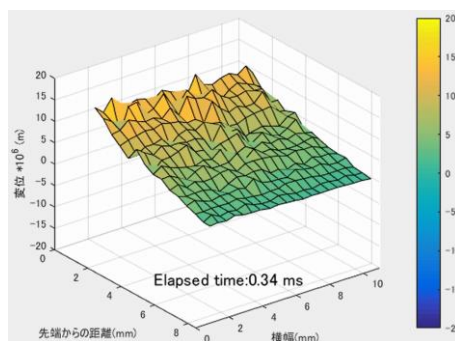


図-5 SMBE1 の変形の様子

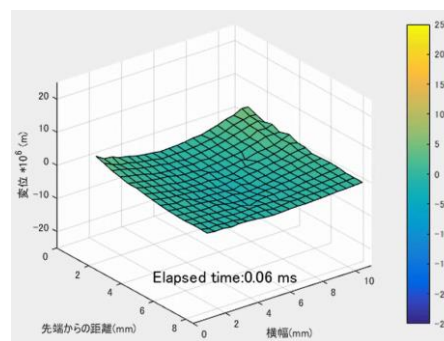


図-6 SMBE1 の変形の様子

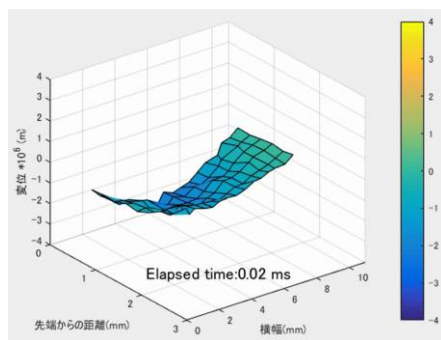


図-7 SMBE2 の変形の様子

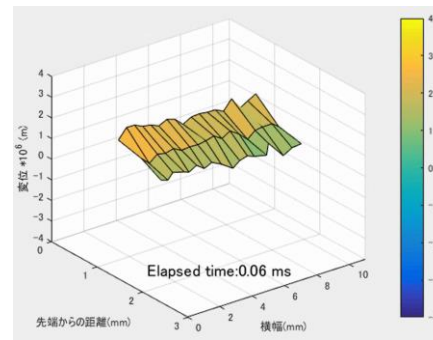


図-8 SMBE3 の変形の様子

は図-5 と同様に一次モードの振動が確認できるが、先端の変位は  $5\text{kHz}$  の場合の約  $1/2$  である。一方、SMBE 表面は幅方向にも曲面をなして変形しており、羽ばたくような曲げ振動が卓越している。このような挙動は自らは振動しない SM 部(図-1)が SMBE 全体の振動を妨げる働きをしているためと考えられる。

SMBE2 に  $55\text{kHz}$  の  $\sin$  波を入力した場合も(図-7), 図-6 と同様、長さ方向には一次モードの振動、幅方向は羽ばたく曲げ振動が確認できる。SMBE2 も SMBE1 と同様に SM 部が中央に位置しているため、この挙動も SMBE の構造由来のものだと考えられる。

SMBE3 に  $37\text{kHz}$  の  $\sin$  波を入力した場合(図-8), SMBE の変形は上記 SMBE1 と同様に先端に近いほど大きく、一次モードで振動している。しかし、幅方向の変形は SMBE 表面が曲面をなして波打つような振動が卓越している。この挙動も右側に位置する SM 部が SMBE 全体の振動を妨げていることに起因すると考えられる。

以上より、SMBE は長さ方向には一次モードで振動を示すことが確認された。幅方向の変形は  $10\text{kHz}$  以下の低周波時は一様だが、 $20\text{kHz}$  を超える高周波時には SMBE 表面が局面をなし羽ばたく曲げ振動や波打つ振動が顕著になることが分かった。

#### 4. 結論

BE の伝達関数を同定するため、レーザー変位計および SM によるフィードバック電圧を用いて無拘束状態の SMBE の振動特性を評価した。本研究から得られた知見は以下の通りである。

- ・無拘束状態で電圧を入力した場合、SMBE は減衰振動し、その波形は入力波形と大きく異なる。
- ・SMBE は周波数が低い領域では長さ方向の一次モード振動が卓越するが、周波数が高くなるにつれ、SM 部が振動の妨げとなり、幅方向の曲げ振動が卓越する。

【参考文献】 1) 石川ら：レーザー変位計およびセルフモニタリングによるベンダーエレメントの伝達関数の同定，第 54 回地盤工学研究発表会，2019。 2) Ogino et al.: A method for received waveform reconstruction based on bender element test using frequency-swept signal. Soils and foundations 48 (2), 287–295, 2008.