

セルフモニタリングベンダーエレメントの振動特性に及ぼす素子形状の影響

Effect of Element Geometry on Vibration Characteristics of Self-Monitoring Bender Element

荻野 俊寛 (秋田大・理工) 西尾 伸也 (日大・生産工)

Toshihiro OGINO, Akita University
Shinya NISHIO, Nihon University
E-mail: ogino@gipc.akita-u.ac.jp

Vibration characteristics of self-monitoring bender elements with different geometries have been estimated to reveal actual transmitter behavior in bender element tests. Multi modal frequency responses have been experimentally identified on the entire surface by using a laser displacement sensor. The responses of self-monitoring bender elements for sine input of 20kHz, which is often employed for actual tests, have been reconstructed. The reconstructed responses for the same input have been differed because the natural frequencies for each element vary considerably depending on its geometry.

1. はじめに

ベンダーエレメント(BE)法による土供試体の S 波速度測定は、受信波の立ち上がり点やピーク点が必ずしも波の到達時刻と一致せず、適切な伝播時間の決定が困難な場合がある。近年の研究によってその原因のひとつが BE 自身の振動特性にあることがわかってきた。本報告は実際の BE の振動特性を明らかにするため、寸法の異なるいくつかのセルフモニタリング BE の振動をレーザー変位計によって直接計測し、振動特性に及ぼす寸法の影響について検討している。

2. 実験

レーザー変位計を用いて寸法およびモニタリング部のレイアウトが異なる 3 種類のセルフモニタリング BE の振動特性を大気中で直接測定した。実験に用いた BE および試験装置の概略を図-1 に示す。モニタリング部は自身の変形によって発生する電圧をフィードバックする。周囲から絶縁されており、電圧を印加しても伸縮運動を発生しない。実験では底部を剛に固定した BE に入力波 $x(t)$ としてスイーブ波を入力し振動させ、レーザー変位計によってその変位応答 $y(t)$ を計測した。レーザー変位計のヘッドは微動台上に固定されており、0.5mm ずつ移動させながら測定を繰返し、BE の振動を面的に計測した。

3. 測定されたベンダーエレメントの振動特性

実験から、各 BE について、計測点と等しい数の周波数応答関数 $H_{yx}(f)$ が得られる。このうち、先端部の $H_{yx}(f)$ のスペクトルを図-2 に示す。素子 A の振幅スペクトルは 4kHz 周辺および 25kHz 周辺に二つの固有振動数を持ち、近傍で π の位相変化が見られることから、少なくとも 2 つの固有振動数を持つ減衰振動を示すことがわかる。また、素子 A よりも素子長が短い素子 B、素子 C では固有振動数は高周波側に大きく移動しており、35kHz および 55kHz 付近にピークが確認できる。素子 B の位相変化は基本的に素子 A と類似しており、2 次の固有振動数で中央部が左右端と逆位相になっている。一方、素子 C ではこれに加えて 40kHz(2 次)付近でも位相のずれが確認できる。

観測された周波数応答関数から、任意の入力 $x(t)$ に対する各観測点での応答 $y(t)$ は式(1)によって計算することができる²⁾。

$$Y(f) = H_{yx}(f)X(f)$$

(1)

ここに、 $X(f)$ 、 $Y(f)$ はそれぞれ、 $x(t)$ 、 $y(t)$ のフーリエ変換である。 $X(f)$ として、実際の BE 試験でよく用いられる振動数 $f_i=20\text{kHz}$ の 1 波長の sin 波を入力した場合の BE の変形を可視化し、図-3～図-5 に示した。素子 A の場合、両端部の振幅が中央部よりも大きく、中心線を対称とした幅方向の振動が卓越している。一方、素子 B、C ではこのような振動は見られず、片持ち板の単純曲げ振動となっている。入力波の振動数 20kHz は素子 A の 2 次、素子 B、C の 1 次

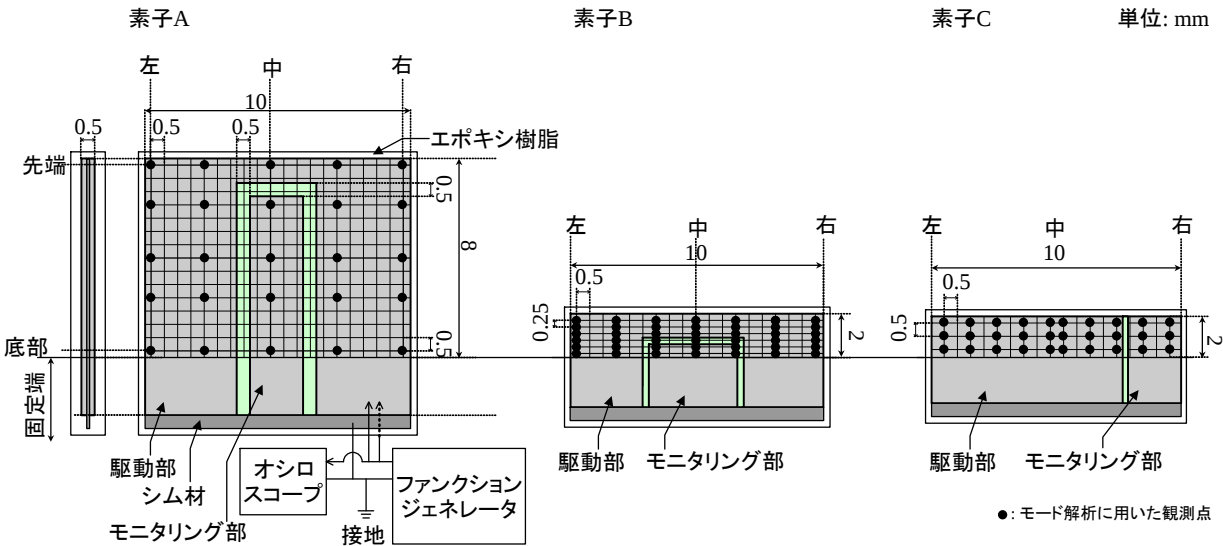


Fig. 1 Schematic diagram of bender element.

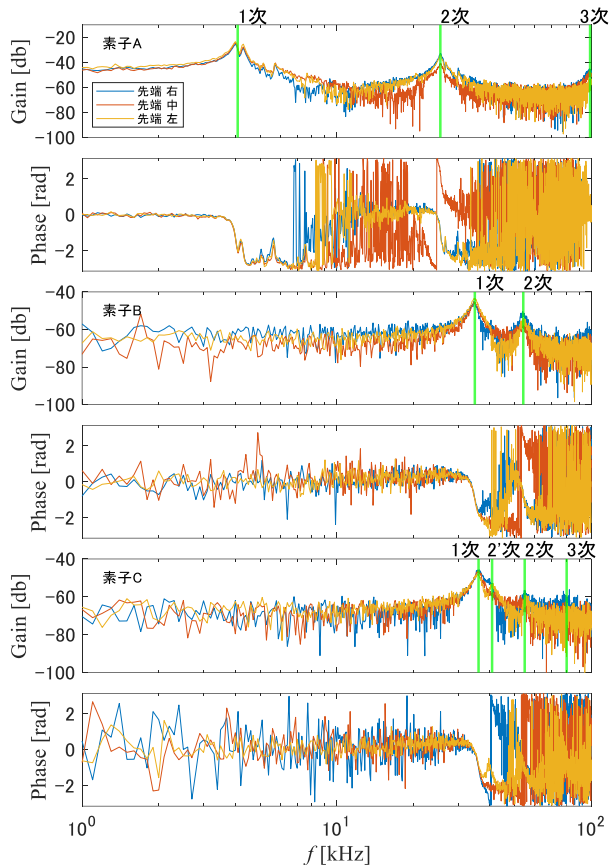


Fig. 2 Frequency responses observed at the tips of BEs.

の固有振動数に近いことから、それぞれの固有振動モードが現れたものと考えられる。また、素子Cでは左右の変位が異なっており、位相差が認められる。これは図2の2'次の固有振動モードによるものと考えられる。BE試験では長さ方向の曲げ振動(1次モード)によってS波を生成する前提であるため、2次および2'次モードの振動は受信波を乱す原因となっている可能性がある。

4. まとめ

本報告から得られた知見は以下の通りである。

- 1次の固有振動モード形状は片持ち板の単純曲げであるが、2次の固有振動モードでは幅方向の曲げ振動が卓越する。
- BEの固有振動数は形状に影響を受け、4kHz~55kHzの範囲に確認された。従来、BEの挙動は1次モードが想定されているが、実際の試験でよく用いられる20kHzのsin波でBEを駆動する場合、これを満たすためには素子長を2mm程度にする必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり科研費(18K04342)の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Irfan, M., Cascante, G., Basu, D., and Khan, Z.: Novel evaluation of bender element transmitter response in transparent soil, *Géotechnique*, 70(3), pp. 187-198, 2020.
- 2) Ogino, T., Mitachi, T., Chan, K. H., Oikawa, H., and Tsushima, M.: A method for received waveform reconstruction based on bender element test using frequency-swept signal. *Soils and foundations*, 48(2), 287-295, 2008.

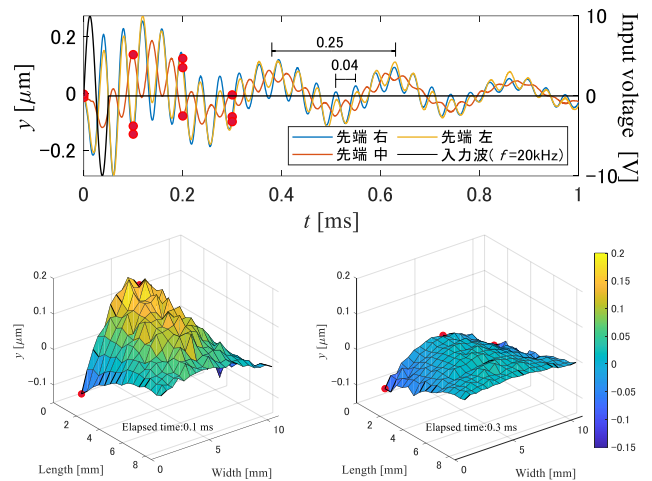


Fig. 3 Response of BE(A) reconstructed by Eq. (1) for one cycle sine input ($f_i = 20$ kHz). The right edges in the foreground correspond to the fixed bottom in Fig. 1.

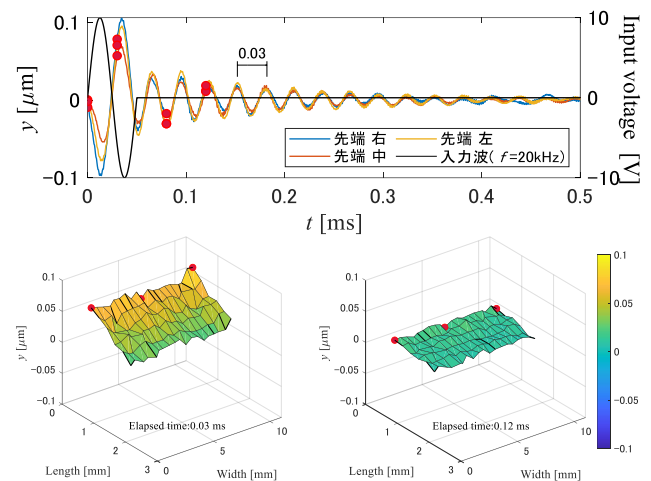


Fig. 4 Response of BE(B) reconstructed by Eq. (1) for one cycle sine input ($f_i = 20$ kHz). The right edges in the foreground correspond to the fixed bottom in Fig. 1.

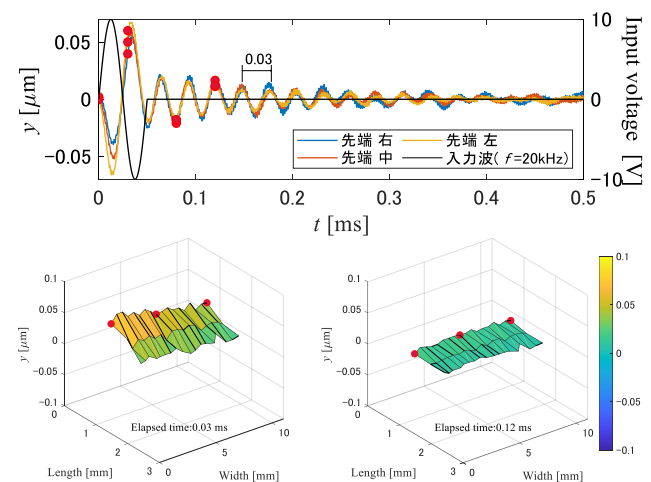


Fig. 5 Response of BE(C) reconstructed by Eq. (1) for one cycle sine input ($f_i = 20$ kHz). The right edges in the foreground correspond to the fixed bottom in Fig. 1.