

光ファイバドップラセンサを利用した低周波振動計の開発

(株)レーザック	○斉藤 義弘	(株)レーザック	布谷 勝彦
(株)レーザック	藤井 宏和	(株)レーザック 正会員	田仲 正弘
川崎地質(株)	中田 文雄	川崎地質(株)	鈴木 敬一

1. はじめに

火山性地震の観測やダムなどの重要構造物の安全性監視において、低周波振動の計測が行われている。現状では電気式の振動計が採用され、実績や信頼性においても十分であるといえる。しかし、耐用年数という面では、信号線の劣化などを起因とする故障を考慮して定期的に交換する必要がある、維持費の増大に繋がっている。特に火山性地震などの測定では、雷が信号線を介してセンサ部を破損させ、センサの交換を余儀なくされている。一方、光ファイバドップラセンサ（以下 FOD センサと呼ぶ）は、本質的防爆性を有し長距離伝送も可能なセンサで、広帯域にわたる感度特性を持ち、同一のセンサで幅広い周波数帯域の振動を捉えることができる。この FOD センサを利用した低周波振動計を用いれば、雷などによる損傷の可能性が少なくなり、センサ自体の耐用年数の長期化が可能となり、費用対効果の向上が期待できる。そこで、FOD センサを利用した低周波振動計を試作して感度試験を行い、その適用性について検討を行った。その結果 FOD センサの有用性が得られたので報告する。

2. FOD センサの測定原理

光ファイバの断面構造は、コア部とクラッド部の2層で構成されており、光波はその境界で全反射を繰り返しながら伝播する。測定に際しては、図-1に示すように光ファイバ線の一部を被計測物に固着することで、その部位をセンサにすることができる。被計測物が振動するとセンサ部もその振動に併せて伸縮し、このとき固着部の一端から周波数 f_0 の光波を入力した場合、伸縮するセンサ部を通過する光波はファイバ内で生じるドップラ効果によって周波数変調 f_d を生じ、伸縮部を過ぎた光波の周波数は $f_0 + f_d$ となる。 f_d は式(1)に示されるように、変位速度 dL/dt と比例関係にある。

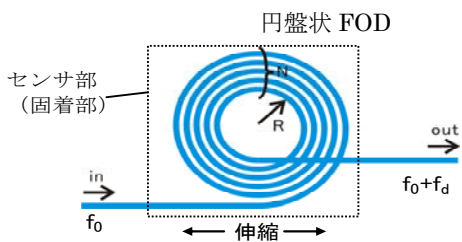


図-1 光ファイバのセンサ部模式

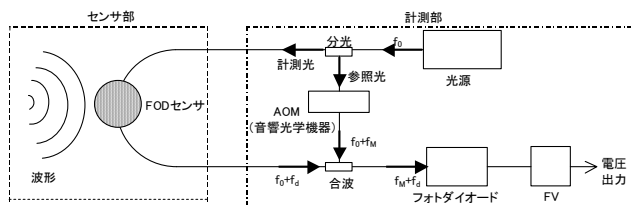


図-2 FOD センサ計測システム図

$$f_d = -\frac{1}{\lambda} \frac{dL}{dt} \quad (1)$$

周波数変調 f_d は図-2 に示す計測システム中の周波数/電圧変換器（FV）で電圧値に変換され出力される。

3. 低周波振動計の構造

図-3 に FOD 低周波振動計の構造図を示す。同図に示したように、錘をぶら下げたアルミ製の円筒形の筒の両側面に FOD センサを貼り付けた単純な構造である。円筒形を採用した理由は微小な振動でも感度良く変形すると判断したからである。測定は振動と連動して生じる錘の上下運動によって筒に強制的に変形を与え、その変形を速度を FOD センサで捉えている。錘は軸ずれが生じないように軸連れ防止の心棒を入れている。したがって、この振動計は上下方向（錘の振動方向）の成分を測定

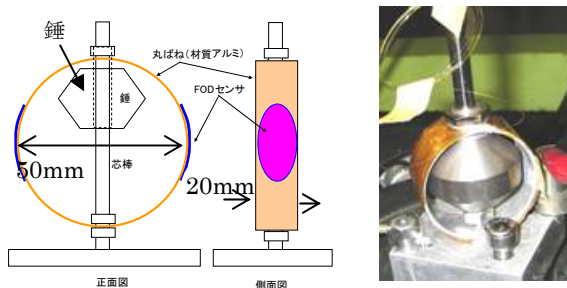


図-3 FOD 振動計の構造

することになる。この筒の形状寸法ならびに錘の重さは周波数応答解析を行い、測定周波数帯が 100Hz～1kHz の範囲になるようにしている。図-4 に加振器を用いて加速計の出力が±2 mV を基準とした周波数 200Hz の振動を与え、FOD 振動計、ジオホーンそして加速度計の 3 種で測定した波形例を示す。同図は、上から加速度計、ジオホーン、FOD 振動計の順に示している。出力値は比較できるようにそれぞれの値は 0dB 基準の電圧に換算している。FOD 振動計は他のセンサと同様に 200Hz で受振しており、感度的には 100 倍程度良好な結果となっている。加速度計とその他のセンサと波形の位相が 4 分の 1 ずれているのは、加速度波形と速度波形の相違である。

4. FOD 振動計の特性

図-5 に測定システムを示す。システムはファンクションジェネレータを用いて加振器の振動周波数を変化させ加振器の上面には FOD 振動計、ジオホーン、加速度計の 3 種のセンサを固定している。各センサの出力波形はデジタルオシロで同期させて収録した。測定は、ジオホーンの入力値を 3mV に保つように、10Hz から 1kHz の範囲で周波数を変化させながら加振させ、その時の FOD 振動計の振動波形を収録した。サンプリングは 10 μ s、波形記録長は 50ms とした。

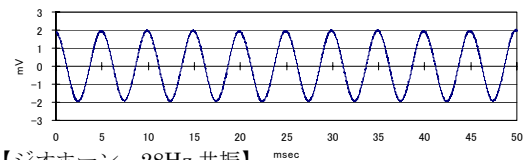
FOD 振動計の共振点は円筒の厚さに影響することは、周波数応答解析結果から推定されていたため、円筒は直径 50mm、厚さは 1.5mm と 1mm の 2 種を用いた。また、FOD センサ自体は測定長（ファイバ長）が長くなると感度が高くなるという特性を有していることから、感度比較するために厚さが 1.5mm のセンサについて、ファイバ長が 7.1m のものと 3.55m の 2 種用意した。厚さ 1mm の FOD 振動計についてはファイバ長が長い 7.1m のみとした。これらの結果を図-6 に示す。同図をみると、厚さ 1.5mm の振動計は 200Hz に共振点を持ち、300Hz からほぼフラットな特性を持つセンサであることがわかる。また、ファイバ長の相違による感度は、ファイバ長 7.1m の方が 200mV 程度、3.55m は 100mV 程度と 2 倍程高いことがわかる。厚さ 1mm の振動計の共振点は 100Hz と低くなり、200Hz からほぼフラットな特性を持つセンサとなっている。周波数帯がフラットな範囲でみると、すべての振動計で感度は 100mV 以上あり、与えた振動（ジオホーン 3mV）に比べ 30 倍以上の感度を有している。

5. まとめと今後の展望

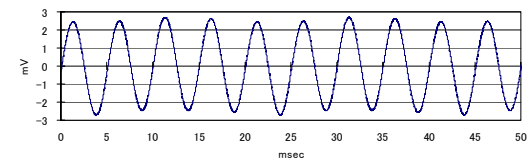
防爆性や長距離伝送に優れた光ファイバを用いた FOD 振動計を製作して、その特性を調べた。その結果、円筒形を用いたことで感度の高いセンサとなっており、共振点も円筒形の厚さが 1.5mm で 200Hz、厚さ 1mm では 100Hz になり、厚さで共振点が調整可能となることがわかった。また、共振点については、円筒形の材質（剛性）や錘の重さでも調整可能となることから、今後はこれらのパラメータと感度ならびに共振点の関係を明確にしていきたいと考えている。

参考文献：田仲正弘・菊山清児・町島祐一・石田毅：光ファイバドップラセンサの岩盤工学分野への適用性に関する基礎的検討，VOL63 No.1, 2007

【加速度計】測定周波数 数 Hz～10kHz



【ジオホーン 28Hz 共振】



【FOD 振動計】

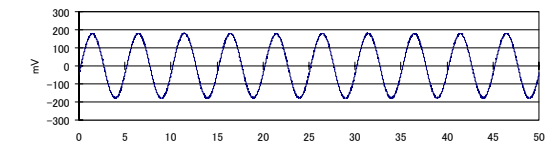


図-4 各種センサの振動波形（200Hz）

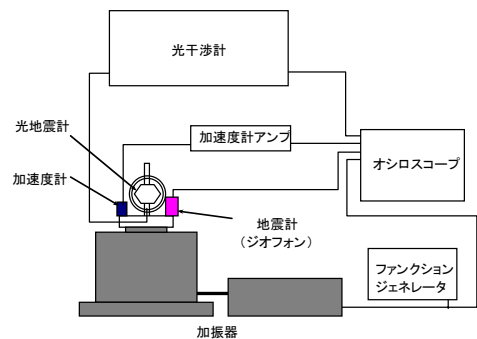


図-5 計測システム

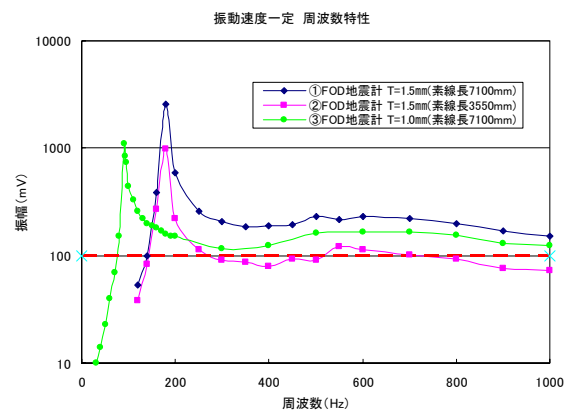


図-6 FOD センサの特性