

光ファイバドップラセンサの水中での適用性検討試験

鹿島建設(株)	正会員	○森	孝之
鹿島建設(株)	正会員	中	中 誠
(株)レーザック	正会員	菊山	清児
(株)レーザック	正会員	田仲	正弘

1. はじめに

石油や可燃性ガスタンクなどの維持管理において、構造物自体の損傷や経年劣化、さらに劣化などに起因したガスなどの漏気をモニタリングできれば、操業時における安全評価の信頼性向上に寄与できる。しかし、可燃性の資源を貯蔵するこれらの施設では、電気式的設備を構造物内部に設置できないため、検査は設備を一時的に構造物内部に設置してごく短時間で行うか、操業を一時中断して行うことになり、いずれにしても常時安全性を監視することは容易でない。そこで、これらの構造物における損傷や経年劣化のモニタリングを目的として、微小な変状や漏気を検知する技術の開発に取り組んでいる。

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、構造物から発生する微小破壊音（AE：Acoustic Emission）を検知できる振動センサとしても開発が進められている。また、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捕らえることができる。したがって、同センサを直接タンク内に設置できれば、構造物の損傷、微小な崩落または漏気音などさまざまなイベントに起因する振動を単一のセンサで検出できる可能性がある。そこで、液体中における振動測定について、FOD センサの適用性を把握するための基礎実験を行った。

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。

$$f_d = -\frac{1}{\lambda} \frac{dL}{dt} \tag{1}$$

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. 試験方法

適用試験を行う FOD センサは、写真-1 に示す円盤状タイプと球状タイプの 2 種とした。ただし、円盤状は厚さ 1mm のステンレス製の管体で保護して使用した。なお、FOD センサの光ファイバ長と感度は比例関係にあるため、両センサの光ファイバは 40m に統一した。さらに、比較用の従来型センサとして、電気式の PZT 型の AE センサ（共振周波数が 70kHz）を使用した。

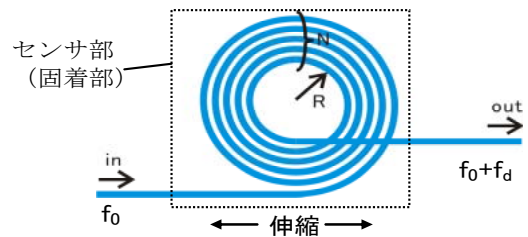


図-1 光ファイバのセンサ部模式図

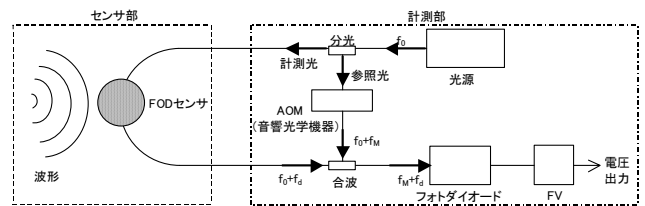


図-2 FOD センサ計測システム図

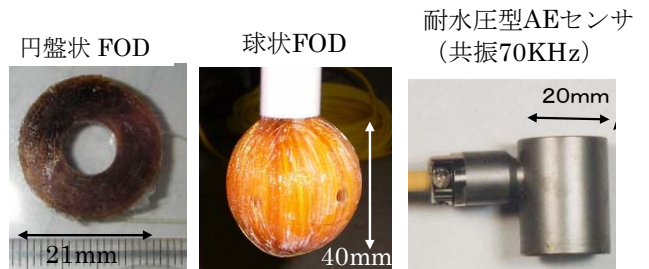


写真-1 センサ写真

キーワード 光ファイバ, AE センサ, 水中, 気泡音, 衝突音

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

試験は、図-3 に示す大型平面水槽（長さ 58m×幅 20m，水位 0.5m）を用いて，水槽側面から 1m の位置にスタンドを立て，3 種類のセンサを水槽底面から 0.1m の位置に固定した。

発振は，微小変状や落下音および漏気音を模擬して，①直径 11mm，質量 6g の鉄球落下音，②AE センサを用いた発振パルス，③エアポンプを用いた直径 5mm 程度の気泡発生に伴う振動の 3 種類とした。

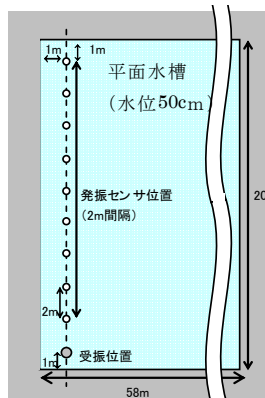


図-3 位置図

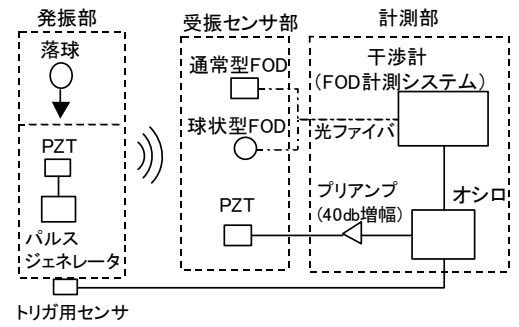


図-4 計測システム図

図-3 に示すように，センサ設置位置を基準として発振位置を 2m ずつ移動して，各位置からの発振による波形データを取得した．発振と受信センサの離隔は最大で 18m とした。

測定は，図-4 に示すシステムを用いて行い，2 種の FOD センサと PZT 型センサ（40dB 増幅）で受信し波形の比較を行った．なお，鉄球落下は水面上方 1m（水槽底面から 1.5m）からの自然落下によって行い，パルス発振と気泡発生は水槽底面から 0.1m の位置で行った。

4. 試験結果

図-5 に発受信間隔 10m での①鉄球落下時における各センサの受信波形（10kHz～100kHz）を示す．同図より円盤状 FOD センサの感度が最も高く，球状 FOD センサと PZT 型センサは同等の感度を有していることが分かる．図-6 に距離と最大振幅の関係を示す．3 つのセンサのノイズレベルはいずれも 0.05V 程度であり，0.1V 程度の受信信号があれば波形の確認が可能である．したがって，重さ 6g 程度の鉄球の落下音であれば 20m 程度離れた場所から検知可能であることが分かった。

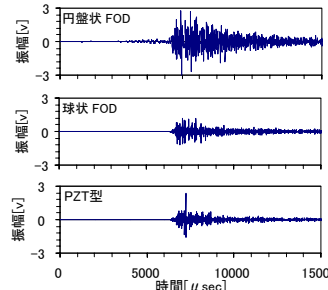


図-5 鉄球落下（離間 10m）

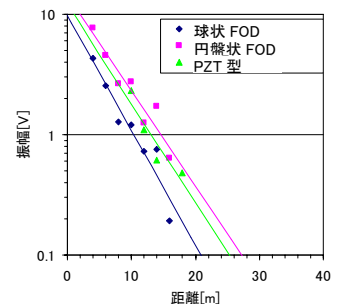


図-6 伝播状況

図-7 に発受信間隔 10m での②パルス発振時における各センサの受信波形を示す．同図より円盤状 FOD センサは PZT 型センサより振幅が小さいが，球状 FOD センサは PZT 型センサと同程度の感度を有することが分かった．円盤状 FOD センサの感度が低いのは，主に金属筐体にセンサを収めたことによる共振特性の変化の影響と推察される。

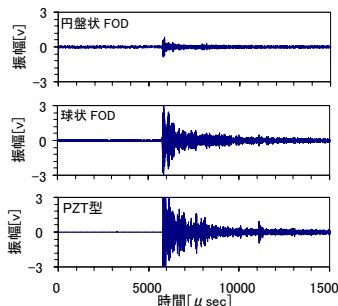


図-7 パルス発振（離間 10m）

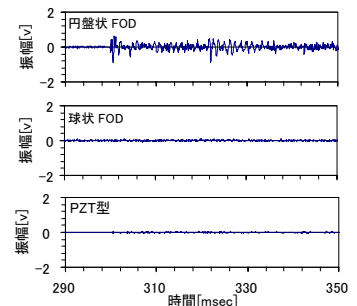


図-8 気泡（離間 1m）

図-8 に発受信間隔 1m での③気泡発振（エア音，1 kHz 程度）時における各センサの受信波形を示す．円盤状 FOD センサでは明瞭に検知されているが，その他のセンサでは振動を検知できなかった．円盤状 FOD センサの感度が高いのは，金属筐体の影響により共振特性が低周波帯域にシフトしたためと推察される。

5. おわりに

鉄球落下時の試験結果から，FOD センサは従来の PZT 型センサと同等の感度を有しており，水中であれば半径数十 m 以内で発生した振動を検出できることが分かった．また，その他の振動源による計測でも，液体中における振動センサとしての FOD センサの性能は，使用目的によっては PZT 型と同等以上であり．同一のセンサでも広範囲にわたる周波数帯をカバーできることから，石油や可燃性ガスタンクなどのモニタリングにおいて十分な適用可能性があることが分かった．以上の結果から，FOD センサを使って水中における広範な周波数帯の振動を検知できることを確認できたが，形状や保護筐体の影響で共振特性が異なるため，今後は，センサの共振特性を含め，感度の向上や保護筐体の設計など実装に向けた開発を行う予定である。