

I - B51

ケーブルセンサの特性試験とその考察

北海道大学工学研究科	正会員	氏平増之
北海道大学工学研究科	学生会員	川村洋平
北海道大学工学研究科	学生会員	今野慎也
北海道開発局開発土木研究所	正会員	今野久志
北海道開発局開発土木研究所	正会員	佐藤昌志

1. はじめに

筆者等はフェルミ単位が異なる 2 つの電気材料が接触、分離した時に発生する静電気信号を利用する振動検出用ケーブルセンサを用い、落石検知システムに関する研究を行ってきた。これまでの室内、フィールド実験を通じて、ケーブルセンサ出力電圧と加速度との関係についての基礎研究は行ってきたが、その周波数特性については未確認であった。また実用化を前提とした場合、ケーブルセンサの出力電圧は A/D 変換し、これを携帯電話回線等で伝送する必要が生じる。この時、A/D 変換速度を上げるとデータは詳細なものになるが、伝送には時間を要する。このため、A/D 変換におけるサンプリング周波数についての検討を必要とした。

上記の 2 点を明らかにすべく、室内実験を行った。実験室のコンクリートの床にケーブルセンサ及び加速度計を設置し、重錘の落下にともなう振動測定を行った。実験では、重錘の落下高さ及びデータロガーのサンプリング周波数を変化させて計測を行い、加速度とケーブルセンサ出力電圧の出力比（伝達関数に近似しているため、以後伝達関数と表現）を周波数領域で求め、ケーブルセンサの周波数領域での特性を明らかにしようとした。

2. 実験と解析方法

本実験では全長 10m のケーブルセンサをコンクリートの床に引き伸ばし、ケーブルセンサの midpoint から垂直に 1m の地点に 100kg の重錘を落下させ衝撃入力を与えた。また、ケーブルセンサの midpoint に加速度計を取り付け、同時に加速度を計測した。ケーブルセンサは両端のみをエポキシ系接着剤でコンクリート床へ固定した。加速度計はひずみゲージ式を使用し、共和電業社製 AS-100HA（定格 100G）を瞬間接着剤で接着した。重錘の落下高さは、10cm から 50cm まで変化させた。また、ケーブルセンサの出力電圧はケーブルセンサの一端に小型の増幅器を取り付け 5 倍増幅した。出力された信号はデータレコーダの磁気テープに収録した。その後、磁気テープに収録されたケーブルセンサ出力波形と加速度波形をサンプリング周波数 1kHz、2kHz、5kHz、10kHz の 4 種類で A/D 変換し、解析に用いた。それぞれのケーブルセンサ出力波形と対応する加速度波形に対し FFT 処理を行い、周波数領域での表示に変換し、加速度波形のフーリエスペクトルとケーブルセンサ波形のフーリエスペクトルの比からケーブルセンサの周波数特性を推定しようとした。具体的には、加速度波形 $f(t)$ を入力、ケーブルセンサ出力波形 $h(t)$ を出力とみなした時の伝達関数 $H(\omega)/F(\omega) = G(\omega)$ を導く。

3. 測定結果

図-1 に測定結果の典型的な波形例を示す。図-1 の波形は重錘の落下高 50cm のときの出力波形であり、(A) はケーブルセンサの出力電圧、(B) は加速度（単位 G）の波形である。サンプリング周波数は 10kHz を使用している。それぞれの最大値は加速度約 60G に対しケーブルセンサ出力電圧は約 6V、最小値は加速度約 -40G に対しケーブルセンサ出力電圧は約 -4V を示していた。図-1 から加速度波形と比較した時のケーブルセンサ出力波形の特徴としては、一見して周波数が低いことと、波形の持続時間が

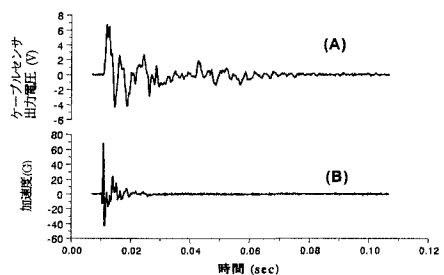


図-1 出力波形例

長いこと等がみられた。

4. 周波数領域における測定結果の分析

図-2 の(A)(B)は、一旦データレコーダの磁気テープに収録されたケーブルセンサの出力波形と、同一の実験の加速度波形を A/D 変換、FFT 処理を行い、伝達関数 $H(\omega)/F(\omega) = G(\omega)$ を求め、図示したものである。同図(A)は A/D 変換時のサンプリング周波数を 5kHz とした時の伝達関数 $G(\omega)$ である。同図(B)はサンプリング周波数を 10kHz としたときの伝達関数 $G(\omega)$ である。また、図中の太い曲線が平均値を示している。図-2 の(A)(B)から伝達関数 $G(\omega)$ の平均値、形状、バラツキがほぼ等しいことがわかる。250Hz 以下の低周波において若干の入れ替わりはあるが衝撃入力が高い時のほうがその $G(\omega)$ が大きくなる傾向がみられる。400Hz から 500Hz の辺りで重錘の落下高さによる影響がみられなくなるレンジが存在し始めていて、その値が約 0.2 であることである。また、2500Hz までの高周波域でも出力比の傾向はほぼ同じになり、約 700Hz 以上ではその出力比が約 0.07 で一定になることがわかった。

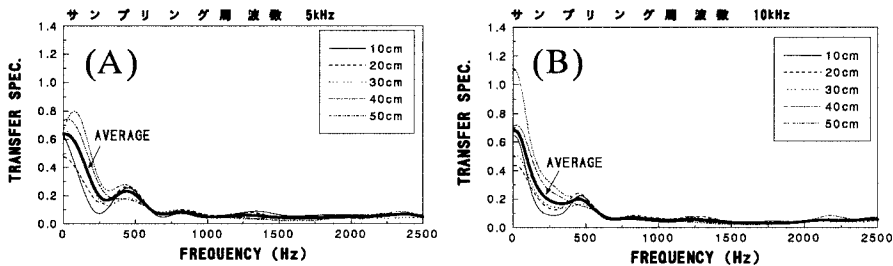


図-2 サンプリング周波数 5kHz、10kHz の比較

サンプリング周波数は出力波形の持っている情報を損なわないためにも、高ければ高いほうがよい。しかし、当然それに伴いデータ量が増加する。今回の実験においては、サンプリング周波数 10kHz の波形が波形としての情報を最も多く持っているわけだが、データ量としてはサンプリング周波数 1kHz のときの 10 倍となる。今回の実験のようにケーブルセンサを用いる場合においてはサンプリング周波数 10kHz の時とほぼ同様の周波数特性を示す 5kHz 付近までは下げ得る可能性のあることがわかった。また、サンプリング周波数を 1kHz まで下げるとその周波数特性は大きく変わってしまうが、データ量のを少なく出来るという利点があることから利用目的によっては有用なこともあると考えられる。

5. まとめ

本文で述べた内容をまとめると次のようである

- (1) 加速度波形を入力とし、ケーブルセンサ出力波形を出力とした伝達関数を求めたところ、伝達関数 $G(\omega)$ は周波数が 0~700Hz の間では指数関数的な減少を示し、700~2500Hz の帯域では、一定値になる傾向がみられた。ケーブルセンサは 0~700Hz 内の帯域では入力周波数が低いほど感度が高い。
- (2) 伝達関数の変化の様相を検討したところでは、ケーブルセンサの出力波形の A/D 変換におけるサンプリング周波数は 5kHz より大きく設定することが好ましい。ただし、今後更なる検討が必要である。
- (3) 本研究で試みた周波数領域での出力波形の解析を進めることで、ケーブルセンサの出力特性をより明瞭に出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 氏平増之・鈴木新吾・細谷昭悟・佐伯 浩・川北 稔・皿田 滋：ケーブルセンサによる模擬トンネルへの落下物衝突位置の標定に関する研究、応用地質、Vol. 39、No. 5、p. 423~432、(1998)