

ケーブルセンサによる落下物重量判別の一考察

A study for the evaluation of fallen object weight using cable sensor

株式会社 NTT ドコモ北海道 正会員 駒崎征明
 株式会社 NTT ドコモ北海道 ○正会員 伊藤史人
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 氏平増之
 北海道大学大学院工学研究科 学生会員 徳永哲信
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田憲二
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 今野久志

1. はじめに

著者らはケーブルセンサを利用した岩盤斜面の崩落や落石の遠隔監視システムを開発し、道内数カ所に試験的に設置しデータの収集を行っている¹⁾。落石規模の推定方法として、これまではセンサの出力電圧値から落下物の重量を判別することを検討していた。しかし同一物でも落下高さが異なれば出力電圧が変化するなど、実環境での重量判別は困難であった。本報告ではこの問題点を解決するデータ処理の手法について検討した結果を述べる。

2. 従来の手法

図1はコンクリート製覆道に加速度センサとケーブルセンサを敷設し、重量の異なる鋼球を落下させた時の重量と出力電圧の関係を示している。

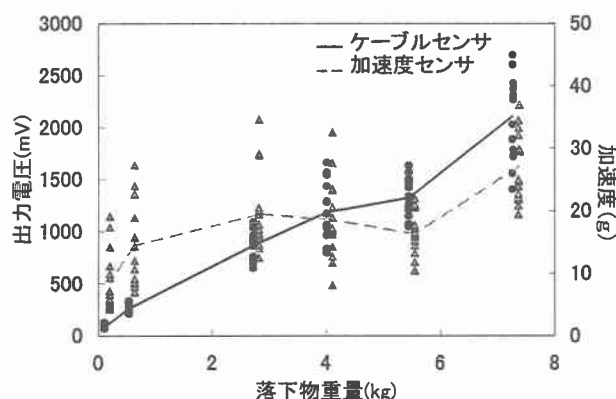


図1 落下物重量と出力の関係

センサへの衝撃入力が大きければその出力電圧も大きくなるという性質を利用し、これまでは出力電圧の大小から落下物の重量判別を行い落石規模を推定する方法について検討していた。しかし本実験は落下高さ一定という条件下で行っているにもかかわらず、繰り返しの実験で覆道表面の凹凸が顕著になると出力電圧にばらつきが生じる。また落下高さが異なれば出力電圧も変化するため、実環境での重量判別は困難であった。

出力波形をFFT（高速フーリエ変換）処理²⁾したデータから落下物重量を判別する方法を以前より検討していたが³⁾、今回その具体的手法を考案し、加速度センサとケーブルセンサの両データに適用し、その有効性を検討した。その結果について報告する。

3. FFT データを用いた手法

落下物重量が大きい場合、出力波形は緩やかなカーブを描き、FFT データは低周波部分に集中する傾向がある。また落下物重量が小さい場合、出力波形は小刻みなカーブを描き、FFT データは高周波部分に集中する傾向がある。この傾向から落下物重量を変化させると、その重量に関係する卓越周波数が移動していくと考えられる。そこで図1に示した実験結果にFFT 処理を行い比較した。

3. 1 加速度センサ出力波形のフーリエスペクトル

図2に0.53kgと5.5kgの鋼球を落下させた時の加速度センサのデータをFFT 処理した結果を示す。5.5kgのデータでは1200Hz付近、0.53kgのデータでは4000～5000Hzの間にピークが見られた。上述の傾向通り、落下物重量の変化により卓越周波数の移動が確認できた。

しかしこの中間の重さにあたる鋼球を落下させた場合、卓越周波数は滑らかに移動せず、2ヶ所のピークの割合がバランスを保ちながら徐々に変化していく。このため図1のような隣り合うわずかな重量差の判別は難しい。

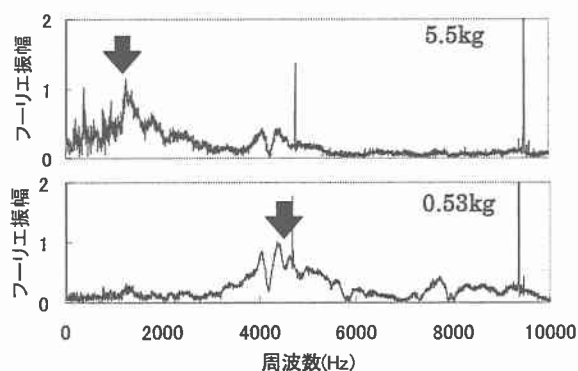


図2 FFT データ（加速度センサ）

3. 2 ケーブルセンサ出力波形のフーリエスペクトル

図3は0.53kgと5.5kgの鋼球を落下させた時のケーブルセンサのデータをFFT 処理したものである。5.5kgのデータでは580Hz付近、0.53kgのデータでは640Hz付近にピークが見られ、加速度センサと同様の傾向を確認できた。しかしケーブルセンサの周波数帯域は加速度センサほど広くなく識別が難しい。この問題を解決するため、次の手法についても検討した。

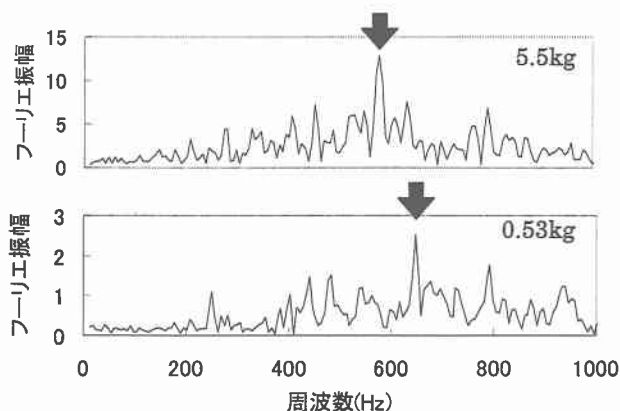


図3 FFT データ (ケーブルセンサ)

4. FFT データの積分値を用いた手法

卓越周波数のピーク位置による識別が難しい場合でも、FFT データの分布状態を比較することで重量の判別は可能であると考えられる。個々の周波数成分についてその振幅を比較する方法もあるが、ここでは FFT データを積分したグラフを用い、その勾配等を比較することで重量判別が可能かどうか調べた。

4. 1 加速度センサ出力波形のフーリエスペクトル積分値

図4は図1の加速度センサのデータから平均値に近いものを選び、そのFFT データを積分したグラフである。4000Hz 付近までは重量の順にきちんと並んでいるが、それ以上の領域では規則性がなく重量の判別は難しい。

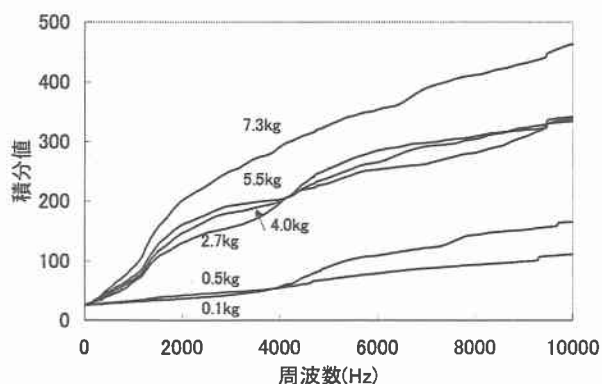


図4 FFT データの積分値 (加速度センサ)

同様のグラフを同一重量物だけのデータで作成すると、ばらつきの影響を受けにくいのは 1000Hz 以下の低周波領域であることがわかる。これより FFT データを積分したグラフを用いて重量の判別を行う場合、低周波部分に着目して比較するのがよいと考えられる。

4. 2 ケーブルセンサ出力波形のフーリエスペクトル積分値

図5はケーブルセンサのデータに図4と同様の処理を行った結果である。どの周波数領域においても重量の順にきちんと並んでいるので重量の判別が可能であるが、ここでは加速度センサと同様に 1000Hz 以下の低周波領域に着目した。

図6は図5の 200Hz 以下のグラフ部分を取り出し、それぞれ直線近似式を求め、その勾配を比較している。重量の順に勾配が変化していくのが確認できる。これより低周波部分の勾配の比較が重量判別に有効であることを確認できた。

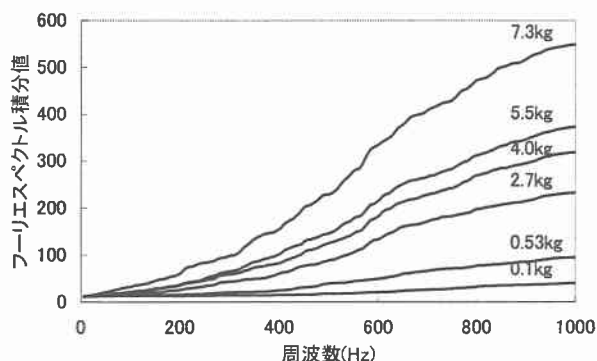


図5 FFT データの積分値 (ケーブルセンサ)

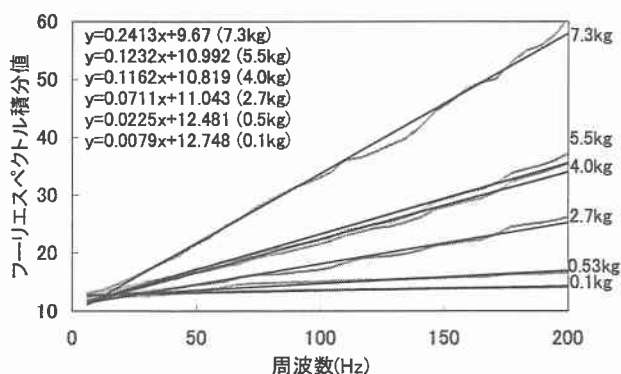


図6 図5の低周波部分の拡大

5. まとめ

FFT データを利用した2つの手法を2種類のセンサに対して適応し、その有効性を検討した。いずれの組み合わせからも落下物重量の判別が可能であることを確認した。

実環境における落石規模の推定を行う場合、本解析手法は有効であると言える。

6. 参考文献

- 1) 駒崎征明・平間和夫・伊藤史人・氏平増之・鈴木新吾・川村洋平・樋口澄志：実規模覆道におけるケーブルセンサと移動通信網を用いた落石見地システムに関する研究、応用地質、Vol.41、No.4、p.200～209、(2000)
- 2) 谷口修・堀込泰雄：計測工学、森北出版株式会社、p.55～68、(1991)
- 3) 中井健司・佐藤昌志・今野慎也・氏平増之：連続衝撃測定センサーを用いた落石感知に関する基礎実験、土木学会北海道支部 論文報告集 第55号(A)、p.62～67、(1998)