

I-42

振動検出用スチールワイヤ型ケーブルセンサの感度特性

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 川村洋平
 北海道大学大学院工学研究科 今野慎也
 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
 NTT 北海道移動通信網(株) 正会員 駒崎征明
 NTT 北海道移動通信網(株) ○正会員 伊藤史人

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監視システムを開発し、種々の条件の場所への適用性を検討している¹⁾。ケーブルセンサの引張強度は40~50kgfであり、そのまま実環境に用いるには機械的強度が不十分である。そこでケーブルセンサをスチールワイヤの中心部に巻き込んだスチールワイヤ型ケーブルセンサを提案している。現在、スチールワイヤ内に巻き込んだ場合にもその感度特性に問題がないかどうかの確認を進めている²⁾。本報文では、実環境における感度特性を評価するため、異なる二つの敷設方法で上記二種類のケーブルセンサを設置して行った実験結果を述べる。

2. 土中に埋設したスチールワイヤ型ケーブルセンサの感度特性

音響を伴う岩盤の剥離等によって生じる振動から岩盤斜面の崩落を検知するには斜面の表面ではなく、岩盤に穿孔されたボーリング孔にケーブルセンサを埋設する方法が考えられる。また落石が急斜面を回転落下せず地面に向けて大きく跳躍するような場合は、その落下点を把握するため、斜面下の平らな地面にケーブルセンサを埋設しておく方法も考えられる。本節の研究では実際にケーブルセンサを埋設しその感度特性を測定した。

2-1. 実験方法

土中にケーブルセンサを埋設した実験の概要を図2に示す。地面に幅50cm、深さ50cmの溝を掘り、その底面に長さ10mのスチールワイヤ型ケーブルセンサ(以下SWCS)2本とケーブルセンサ(以下CS)2本を10cm間隔で平行になるよう並べた(図1)。そして図2に示すように4本のケーブルセンサの中央に

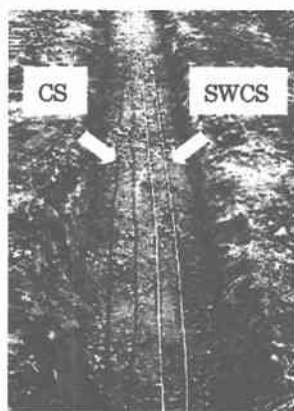


図1 ケーブルを埋設した溝

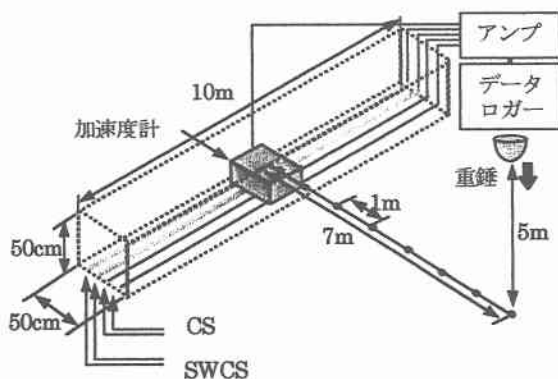


図2 埋設実験の概要図

Sensitivity Characteristic of Steel Wire Cable Sensor for Vibration Detection

By Masuyuki UJIHIRA, Youhei KAWAMURA, Shinya KONNO, Kenzou Ikeda, Hisashi KONNO,
 Masaaki KOMAZAKI, Fumito ITO

加速度計の入った金属製の箱を載せ、その上に砂利を敷き溝全体を埋め戻した。ケーブルセンサの中央からそれとは直角の方向に0.3、1、2、3、4、5、6、7m離れた点へ、重さ113kgの重錘を高さ5mから落下させ、その時の出力電圧をそれぞれ測定した。出力電圧はケーブルセンサの一端に取り付けたアンプで2倍に増幅し、サンプリング周波数100kHzのデータロガーに取り込んだ。この場合、アンプはフィルタ回路を含んでいない。

2-2. 出力波形の特徴

ケーブルセンサから距離1mの位置に重錘を落下させた時の出力波形例を図3に示す。同図(a)はCS、(b)はSWCSの出力波形をそれぞれ示している。CSの出力波形に比べSWCSの出力振幅が小さい点と、113kgという質量の大きい重錘を用いた今回の場合は出力波形に細かい振動部分が少なく、低い周波数で振動するという特徴を持っている。この特徴はコンクリート床に100kg前後の重錘を落下させた図4の場合と類似している。ただ本実験の場合はコンクリート床での測定波形より出力の持続時間が長めで、波形減衰の後半部に微弱で緩やかな振動が持続するという特徴が見られた。

2-3. CSとSWCSの出力感度の比較

図5に出力電圧と加速度の関係を示す。これを上記100kgの重錘をコンクリート床へ落下させた図6の実験結果と比較してみると、CSとSWCSによる出力電圧と加速度の対応関係がよく一致している。両図からわかるように、CSとSWCSの感度の相対的な関係は埋設したことによっても変化せず、同じ加速度入力に対しては同じ電圧を出力することがわかる。

図7は落下点からケーブルセンサまでの距離と出力電圧の関係を示している。両ケーブルセンサの出力差はケーブルセンサに近い位置では大きく、遠くなるに従って差は小さくなっており、これも埋設しない時の実験結果と類似した傾向を示している。しかし距離の増加による出力電圧の減衰割合は今回の実験の方が大きめとなった。これは実験を行った場所の土質が粘土質であり、波動伝搬中の減衰量が大きかったためと考えられる。また図3で出力波形の

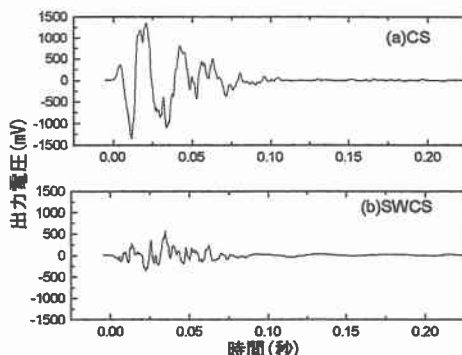


図3 出力波形（埋設実験）

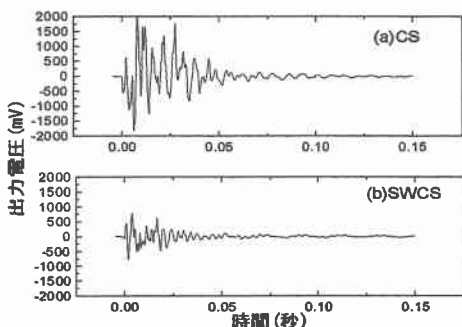


図4 コンクリート床へ重錘落下時の出力波形

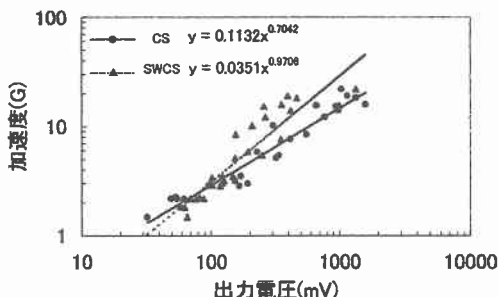


図5 出力電圧と加速度の関係（埋設実験）

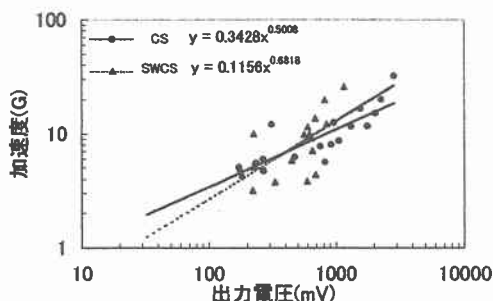


図6 コンクリート床へ重錘落下時の出力電圧と加速度の関係

後半部に見られる緩やかな振動も、この土壌条件の影響と考えられる。

ケーブルセンサを土中に埋設した場合においても、その感度特性は埋設しない場合とほぼ同等であるので、ケーブルセンサを土中に埋設した状態で使用することに問題はないと言える。ただしケーブルセンサから離れるに従い、埋設した場所の土壌条件の影響を受け、ケーブルセンサに到達する振動が微弱になる場合がある。埋設する場合は、その位置の土壌条件を考慮する必要がある。

今回の実験場所は粘土質であり、波動伝搬条件として良好とは言えないが、両ケーブルセンサの出力電圧の最大値と雑音の比は、5m で 25dB 以上、7m でも 20dB 以上と算定されるので、敷設するケーブルセンサの間隔を大きく取っても、その間の面全体をカバーすることが可能であると言える。

3. 落石防護網へ二種類のケーブルセンサを敷設した場合の感度特性

通常落石の危険性がある斜面においては必ずと言ってよいほど金属製の防護網が敷設されている。本節のフィールド実験ではこの防護網を利用し、その上に CS または SWCS を格子状に敷設した場合の感度特性を測定した。

3-1. 斜面における実験方法

実験の概要を図 9 に示す。図 8 のような防護網が敷設されている斜面に、縦方向に長さ 16m の CS を 2m 間隔で 6 本、横方向に長さ 10m の CS を 2m 間隔で 9 本、合計 15 本を格子状に設置した。SWCS も同様に、CS と同じ位置に合計 15 本設置した。ケーブルの固定には樹脂製のバンドを用い、どのケーブルセンサもほぼ 1m の間隔で防護網に固定した。図 9 に示すケーブルセンサ C,D,6,7 で囲まれている格子の中央に重さ 0.2、2、4、6、8、10、12kg の岩塊を高さ約 1.5m から落下させ、その時の出力電圧をそれぞれ測定した。出力電圧はケーブルセンサの一端に取り付けた小型なアンプで 2 倍に増幅し、サンプリング周波数 100kHz のデータロガーに取り込んだ。



図 8 ケーブルを敷設した斜面

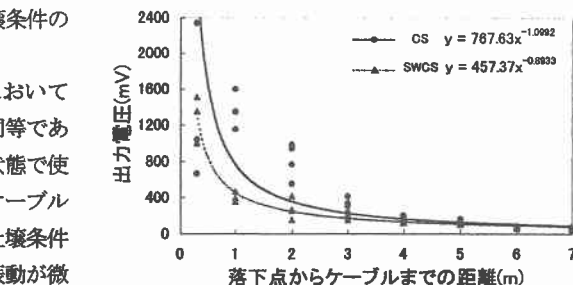


図 7 落下点からケーブルセンサまでの距離と出力電圧の関係

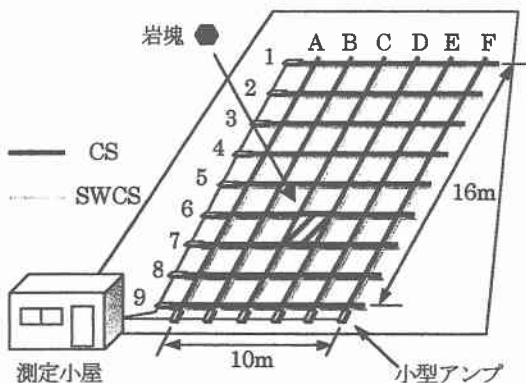


図 9 実験の概要図

3-2. 出力波形の特徴

6kgの岩塊を落下させた時のケーブルセンサ番号6の出力波形例を図10に示す。同図(a)はCS、(b)はSWCSの出力波形をそれぞれ示している。CSの出力波形に比べSWCSの出力振幅が小さい点と、重量の小さい物体を落下させた場合は出力波形の周波数が高くなる点は、図4で示した一連の実験で得られた出力波形の特徴とよく一致している。ただ本実験の場合は、出力波形が上下対称ではなく、正の方向に強く振れるという特徴がある。これはケーブルセンサを金属製の防護網に固定しているため、ケーブルセンサに伝搬する機械的振動が非対称になったからと考えられる。ケーブルセンサをコンクリートの床面などに長く横たえた場合も同様の傾向が見られている。

3-3. CSとSWCSの出力感度の比較

図11に落下させる岩塊の重さと出力電圧の関係を示す。図はケーブルセンサ番号6のデータである。落下させる岩塊の重さが大きくなると出力電圧も大きくなる点は、コンクリート製覆道にケーブルセンサを設置し、重さの異なる鋼球を落下させた実験の結果とほぼ同じである³⁾。CSとSWCSの相対的な関係についてはこれまでのコンクリート床における実験結果と同じく、SWCSの出力電圧が0.2~0.4倍程度低くなるという結果になっている。ただしケーブルセンサごとのばらつきが見られた。これは落石が堆積して防護網と斜面が密着していたり、防護網に変形部分があるなど、防護網の状態が場所によって異なっていることが原因であり、実際に設置する場合、数倍程度のばらつきはあるという前提で使用する必要がある。

最も信号レベルが低い重さ0.2kgの条件下での出力電圧の最大値と雑音の比は、CSは19dB、SWCSは10dBと算定される。防護網の中央に落下させた場合、防護網がクッションのような働きをするため、通常の測定結果に比べ小さい値になっているが、落石の検知は十分可能であり、実用上の問題はないと考える。

4. まとめ

ノーマルなケーブルセンサ(CS)とスチールワイヤ型ケーブルセンサ(SWCS)を異なる二つの敷設方法で設置し、感度特性を測定した。実環境に敷設する場合は、機械的強度の高いSWCSの使用が予想されるが、二種類の条件下における実験結果ともSWCSは十分な感度特性を示しており、実用上問題ないと判断できる。

5. 参考文献

- 1) 氏平増之・鈴木新吾・佐伯浩・駒崎征明・平間和夫・川北稔：ケーブルセンサと移動通信網を用いた落石検知システムの現場実験、寒地技術論文・報告集、Vol.13、No.2、p.631~637、(1997)
- 2) 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)
- 3) M.Ujihira, K.Ogawa, S.Suzuki, S.Hosoya, H.Saeki, M.Komazaki, K.Hirama and M.Kawakita, Rock fall detection system using cable sensor and mobile multimedia network, *Proceedings of the 7th Int. Sympo. on MPES (Calgary)*, pp.151-156. (1998).

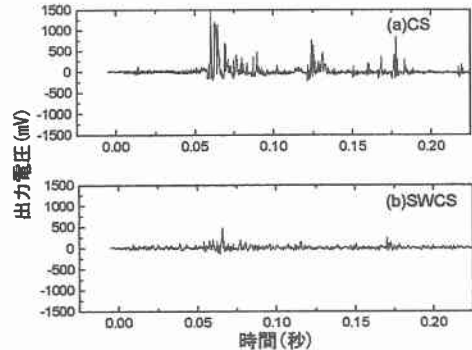


図10 出力波形(防護網実験)

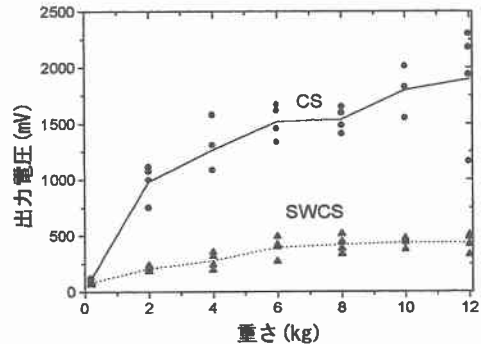


図11 岩塊重量と出力電圧の関係(防護網実験)