

スチールワイヤ型ケーブルセンサによる落石検知に関する研究

－実斜面への適用性について－

Study on the detection of falling rocks with steel wire cable sensor

－On the applicability against practical slope－

北海道大学工学研究科
 北海道大学工学研究科
 北海道大学工学研究科
 北海道大学工学研究科
 北海道開発局開発土木研究所
 (株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ北海道
 (株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ北海道

学生会員 徳永哲信
 学生会員 ○今野慎也
 学生会員 川村洋平
 正会員 氏平増之
 正会員 池田憲二
 正会員 駒崎征明
 正会員 伊藤史人

1. はじめに

近年、豊浜トンネル岩盤崩落事故を初めとする落石災害が発生しており、特に道路に面する岩盤不安定斜面が多い北海道の日本海沿岸、太平洋沿岸、道央山岳地域ではその予知、防止対策が急務となっている。一般的に大規模落石や岩盤崩壊が前兆なしに起こるとは考えにくく、観察例は少ないものの前兆と見られる小規模な落石も観察されている。その小落石を検知し大規模崩壊を予知する手段として用いようとするのがケーブルセンサによる落石検知システムである。しかし、ケーブルセンサの引張強度は 400～500N と弱いため、実際の岩盤斜面での使用を考えた場合、強度が不十分であり何らかの補強をする必要がある。著者等は、引張強度 75kN の 6 ストランドからなるスチールワイヤの芯材の部分に、ケーブルセンサを巻き込んだ構造のスチールワイヤ型ケーブルセンサを考案している（本報文では、以後スチールワイヤ型ケーブルセンサを SWCS、ケーブルセンサを CS と略記する）。室内実験では、SWCS は従来の CS に比べて若干の出力の低下が見られたが、実用上問題ないと判断した。本報文では、1999 年 10 月、斜面の防護ネット上に SWCS と CS を敷設し冬期間放置した後、翌春に再度感度試験を行った際に発見された問題点と対策法について述べる。また複数のセンサ間での出力感度を補正するための 1 つの方法を提案する。

2. スチールワイヤ型ケーブルセンサの敷設場所と実験現場の概要

SWCS と CS の敷設場所には、札幌市南区定山溪にある定山溪ダム右岸を通る林道の切通し斜面（斜面長約 20 m、傾斜角約 40°～50°）を選定した。斜面上に設置されている防護ネットは数ヵ所が破れており、落石や雪崩で生じたと考えられる。また、岩盤斜面の脚部では落下した岩石がネット内部に堆積した状態となっている。この

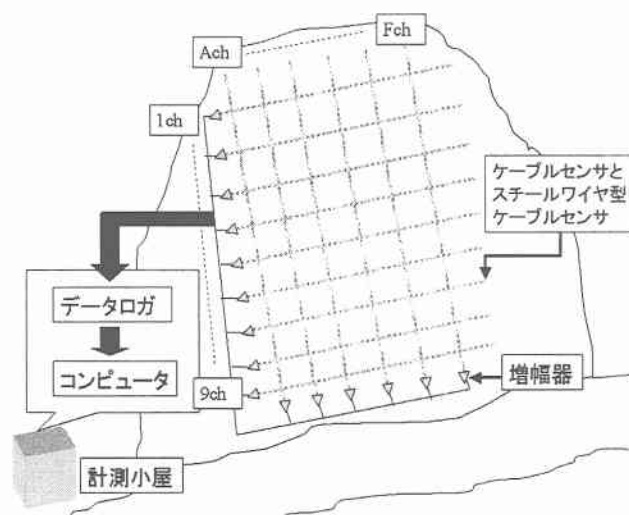


図-1 実験概念図

研究では、図-1 の概念図に示すように、防護ネット上に SWCS、CS をそれぞれ約 2m 間隔で横方向に 9 本、縦方向に 6 本ずつの計 30 本を格子状に敷設した。防護ネットが破れている箇所は SWCS、CS が宙に浮いた状態になっている。横方向は斜面上部より 1ch から下部へ 9ch まで、縦方向は Ach から Fch までとした。縦方向の SWCS、CS 長は 16m、横方向は 10m である。発生した出力信号は個々のセンサの末端に取り付けた小型増幅器で 2 倍増幅の後、計測小屋(床面積 5 m²)内のデータログに取り込まれ、コンピューター上で処理される。1999 年 10 月に敷設後、落石実験を行ったが、その結果は昨年度本支部報文で報告した¹⁾。その後、SWCS、CS 並びに小型増幅器を冬期間そのまま放置し、翌年 5 月上旬の融雪時に計測システムの検査と 2、3 の実験を行った。

3. 越冬後のスチールワイヤ型ケーブルセンサとケーブルセンサの状況

越冬した 2000 年 4 月 29 日～5 月 4 日に、放置後の SWCS、CS の動作の良否を試験した。1ch 付近の斜面は 2ch から 9ch までの斜面と比較すると、傾斜が若干緩傾斜であるため雪は 1ch 付近と斜面下半部に残っていた。まず SWCS、CS についてであるが、横方向、縦方向ともにセンサ自体が切断している箇所は見受けられなかった。冬期間には 1m 以上の積雪があり、さらに防護ネット上に堆積した雪はその傾斜角の大きさにより滑動しやすく、実際に滑動が生じていたと見させるが、SWCS、CS 共に切断が生じなかったのは、敷設時に SWCS、CS とネット間をプラスチック製バンドで 1m おきに固定し、滑動荷重を支持できたためと考えられる。このように SWCS、CS 自体に外見上の変化は見られなかった。しかし、横方向 SWCS、CS の末端に接続していた小型増幅器については、出力、入力接続部根元から信号ケーブル、またはセンサ末端が抜け落ちていたものが確認された。これは、融雪時に作用した滑動する雪の引張荷重に対する、増幅器内の増幅回路と信号用ケーブル及びセンサ末端の接続強度が不十分であったためと考えられる。越冬した小型増幅器を図-2 の写真に示す。また、小型増幅



図-2 越冬した小型増幅器

器を分解してみると僅かではあるが水分が流入し結露した状態が確認された。すべての横方向 SWCS、CS は、信号伝送用ケーブル及びセンサ末端と小型増幅器間の接続部の浸水または引き抜けにより使用不可能な状況であった。一方縦方向のセンサに関しては、雪の滑動による引張荷重が作用しにくいため、増幅器及び信号ケーブルともに水の浸入や切断は見られなかった。2000 年 11 月、横方向の SWCS に新たな小型増幅器を取り付けたところ正常な出力を示し、縦方向は越冬したままの小型増幅器を再度試験したところ元通りの正常な出力を示し、冬期間放置しても感度を失わないことがわかった。よって越冬対策として小型増幅器に関してはより完全な防水対策が必要と考えた。図-3 に対策後の小型増幅器を示す。円形プラスチック容器の中に増幅回路を収め、その中にエポキシ系接着剤を流し込み防水を図った。これにより、

ケーブルセンサ末端と信号伝送用ケーブルの末端が、小型増幅器から引き抜かれる現象は防止でき、かつ安全な防水がはかられていると考えられる。

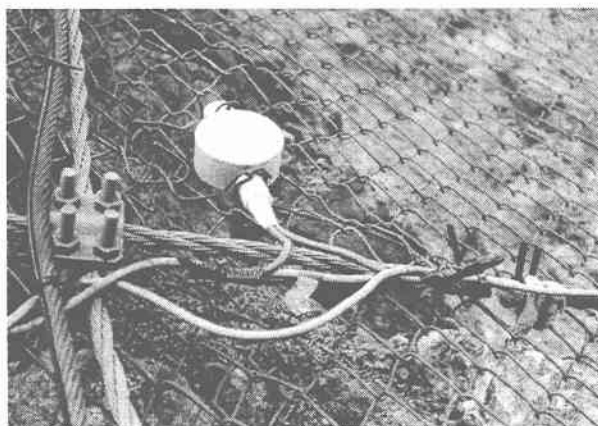


図-3 防水対策後の小型増幅器

4. 自然の落石を感知した例

2000 年 5 月 1～4 日、冬期間放置されたが計測能力を維持している縦方向 SWCS の A、B、D、E、Fch を用いて、自然の落石を感知できるかどうかの実験を行った。斜面を監視中に、縦方向センサ D、Ech 間、横方向センサ 2、3ch 間に囲まれた格子の左下付近から、長軸径約 30cm、短軸径約 20cm の岩塊が落下した時の軌跡を図-5 に示す。また、落下前後の開始点と終点の状況を図-6

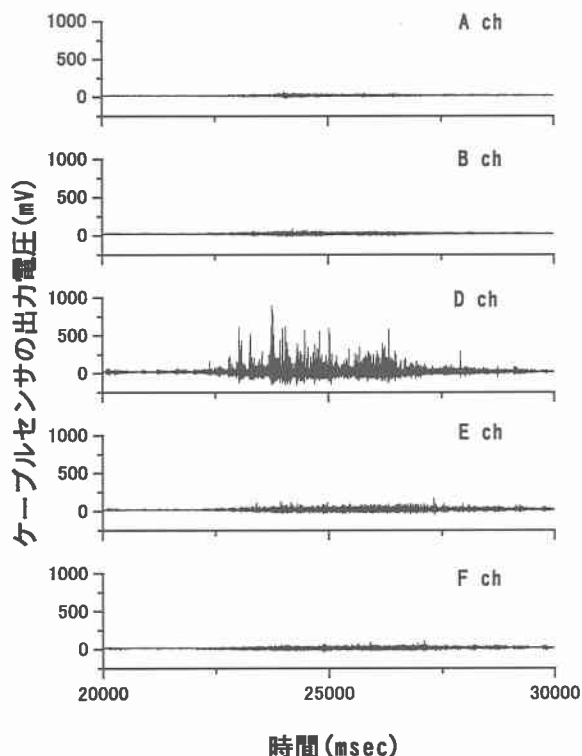


図-4 自然に発生した落石に対する各 ch のスチールワイヤ型ケーブルセンサの出力波形

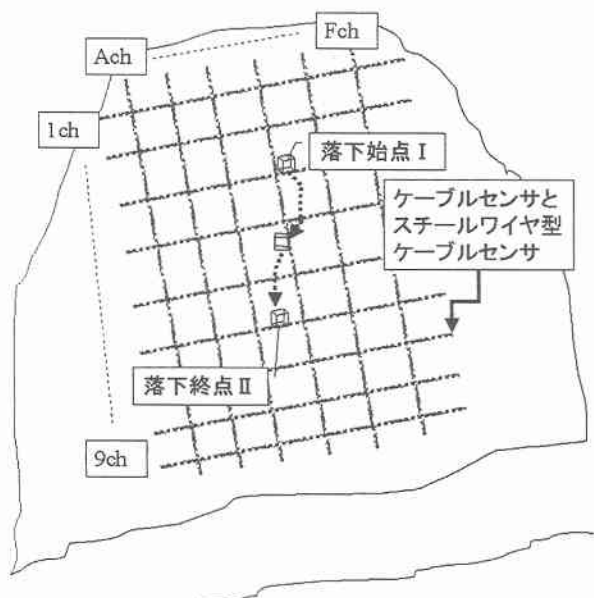


図-5 自然に発生した落石の落下軌跡

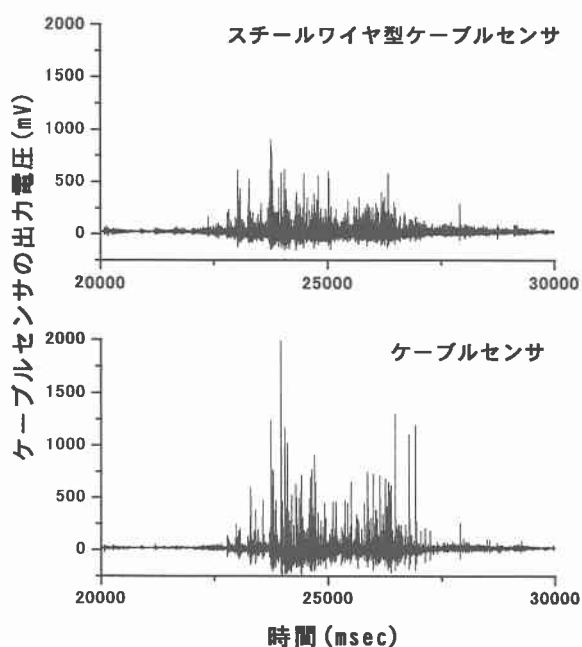


図-7 Dch のスチールワイヤ型ケーブルセンサとケーブルセンサの出力波形

の写真に示す。岩塊は落下開始点から斜面と防護ネットの間を不安定な岩塊を巻き込みながら滑り落ち、C、Dch 間、5、6ch 間に囲まれた格子下部のネットと斜面の間隔が密な場所で挟まる形で停止した。図-4 にはその落下する岩塊を SWCS で感知した出力波形を示している。前述のように、横方向の SWCS、CS は共に使用不可能な状況であるため、使用可能であった縦方向の SWCS、SC を用いて測定している。図の上から A、B、D、E、Fch が感知した波形を示している。Cch は計測の不備により落石を感知していない。図より Dch は、最大出力電圧がプラス約 1000mV と他の ch と比べて出力電圧が非常に大きく、また、Dch 以外の ch の振幅は小さい。Dch の

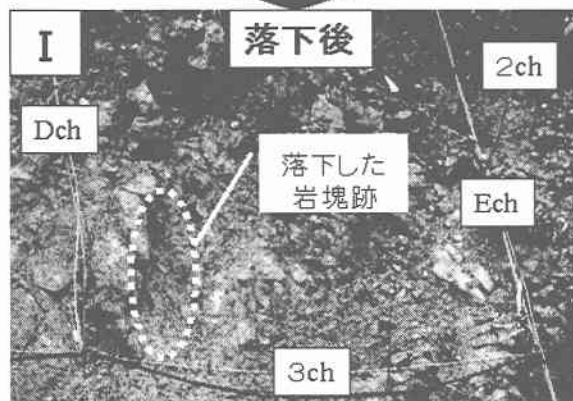
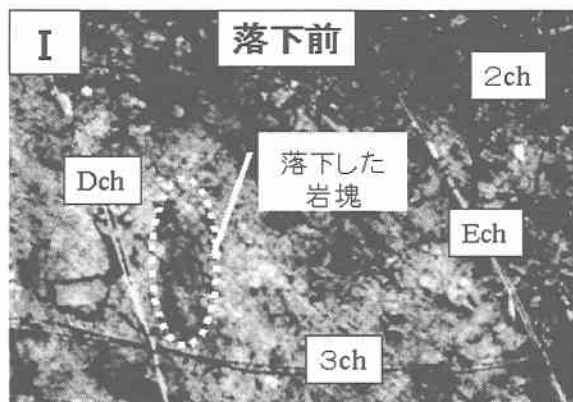


図-6 自然に発生した落石前後の落下始点と終点の状況

出力波形の減衰時間が約 5 秒と岩塊が斜面を落下した時間とほぼ同じであることから Dch に沿って落下したことが裏付けられる。図-7 には、図-4 で示した落石時に最も大きな感度を示した Dch の SWCS と並列に敷設していた CS の出力波形を比較して示している。図より SWCS、CS の振動持続時間はほぼ同じである。次に最大出力電圧を見ると SWCS でプラス約 1000mV、CS でプラス約 2000mV と 2 倍の開きがある。しかし、落下した岩石の大きさから見て SWCS の約 1000mV の出力電圧は十分な出力値であると考えられる。

5. 出力感度の補正方法

本報文における実験のように、SWCS を実際に岩盤斜面の防護ネットに設置して使用する場合には、センサの長さは数十メートル以上になると予想される。一般的に斜面は凹凸に富んでおり、敷設された 1 本のセンサをみた場合、場所により斜面とセンサの間隔は様々である。同じ重量の岩塊が衝突した場合、場所によりセンサの出力は異なると考えられる。また、センサごとの感度の違いも考えられる。ここではセンサごとの感度の違いを補正する方法について述べる。補正には加速度計を併用する。図-8 に示した例は、図-1 の概念図に見られる横

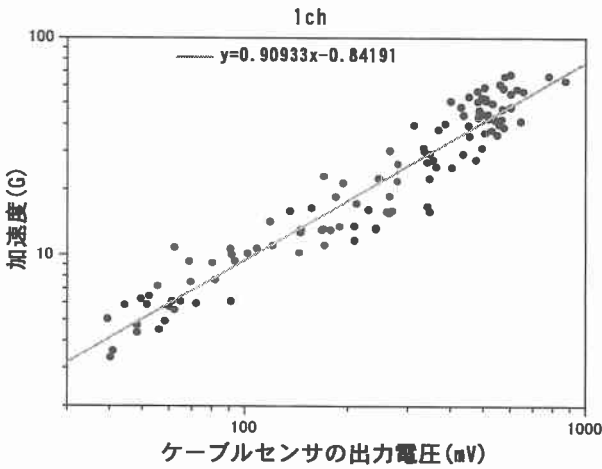


図-8 1ch におけるスチールワイヤ型ケーブルセンサと加速度の関係

方向 1ch の SWCS の末端に加速度計を固定し、その周囲の半径 50cm 以内の防護ネット上に、大小様々な衝撃を与えた場合に出力された加速度と SWCS 出力値の関係をプロットしたものである。データ数は約 60 点であり、統計学上の母集団としては十分な数である。また、ほぼ同じ条件のネット上に衝撃を与えたため、衝撃に対する SWCS の感度のばらつきが少なく、この母集団の相関係数は約 0.96 と大きい。このプロットに対する回帰直線 $y=0.90933x-0.84191$ を用いて、様々な衝撃に対する 1ch のスチールワイヤ型ケーブルセンサの感度を加速度の値

に変換し、より正確な出力感度を導くことができる。その例として、図-9 に 1ch 付近への衝撃に対して出力された SWCS の出力電圧波形及びそれを加速度に補正し

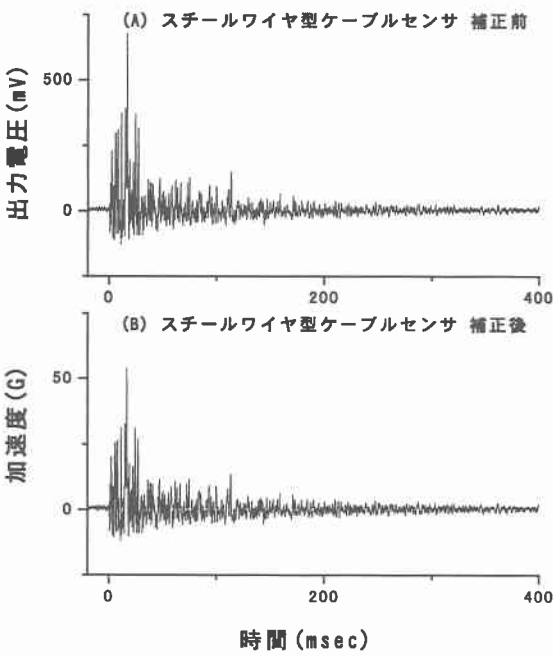


図-9 補正前後のスチールワイヤ型ケーブルセンサの出力波形

た波形を示した。加速度計を併用したこの方法を全チャンネル同様に行い、図-9(A)のような電圧波形を同図(B)のような加速度波形に変換することで、チャンネル間の感度の補正を行うべきと考えている。

6. まとめ

本報文では、岩盤斜面の防護ネット上に敷設した SWCS を冬期間放置した場合、どのような問題点が生じるかを調べた。その結果、以下のような事項が明らかとなった。

- 1. 越冬したケーブルセンサ及び信号ケーブルと小型増幅器接続部で引き抜けや水の流入が見られた。その補強対策が必要である。
- 2. 冬期間放置したケーブルセンサ及びスチールワイヤ型ケーブルセンサ自体は、センサ末端が増幅器から引き抜かれ、風雨にさらされても感度は失われない。
- 3. より正確な感度を導くため、加速度計を併用した補正法を提案した。

参考文献

1) 氏平増之、川村洋平、徳永哲信、駒崎征明、伊藤史人、池田憲二、今野久志：スチールワイヤ型ケーブルセンサの斜面への適用に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、No.56(A)、pp.208-213(2000)