

Ⅲ-16

道路防災上の落石監視・検知システムの開発

株式会社復建技術コンサルタント 正会員 ○渡邊敬三
山下智士
村田曉永

1. 落石検知システムの必要性

落石検知システム（＝落石センサ＋通信通報システム）は、道路路面施工時および、道路維持管理において要望が高まっているが、未だ普及を見ていない。そこで当社では平成11年度より、独自の落石検知システムを技術開発中である。

本稿では、機器の試作状況および性能実験・現場斜面での実験の結果に関して報告する。

2. 落石センサの開発

2.1 落石センサの目的

1997年の北海道島牧村第2白糸トンネル坑口での岩盤崩壊事故などの事例において、大規模な岩石・崩壊が発生する前には、前兆現象として小規模な落石、崩落が発生する場合が多いことが報告されている。

すなわち、小規模落石の頻度増加傾向を把握することで、大規模な崩壊の予測に繋がると考えられる。

小規模落石の頻度把握を行うには、落石個数を計測するセンサが不可欠である。センサに要求される性能は、検知精度の高さ・耐久性・小電力での動作・安価などがあるが、これらの条件を満たせる検知方式として、OFF-ON スイッチ方式を採用することにした。

2.2 当社落石センサの仕様

前項の条件を踏まえた上で考案したセンサが以下の3種類の落石センサである。

- ・ネット式センサ（ネット＋OFF-ON スイッチ）
- ・振子式センサ（可動棒＋OFF-ON スイッチ）
- ・受圧板式センサ（受圧板＋ホーススイッチ）

なお、これらのセンサおよび落石検知システムは、特許出願中である（特願 2003-174524）。

(1) ネット式センサ

リードスイッチ（磁力変化でOFF-ONを行う）を用いたセンサで、ワイヤの引張力で磁石が移動し、OFF-ON 作動する。

斜面途中での設置方法は、足場パイプで作成した取り付け枠に落石捕獲ネットをぶら下げ、ワイヤをネットに通す。落石衝突時にはネットのたわみがワイヤに伝わり検知する仕組みとなっている。

(2) 振子式センサ

リードスイッチを用いたセンサで、足場パイプで作成した取り付け枠に、受振部を振子のように吊り下げて使用する。

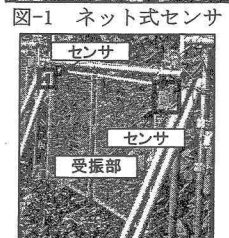
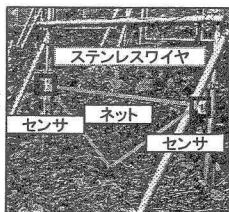


図-1 ネット式センサ

図-2 振子式センサ

落石衝突時に受振部が起こる振子運動を回転運動に変換し、永久磁石を貼り付けた円盤が回転することで、リードスイッチがOFF→ON 作動する。

(3) 受圧板式センサ

2枚の受圧板の間にホーススイッチ（圧力でOFF-ONを行う）を固定して、落石通過時に石の重みでOFF→ONで検知する仕組みとなっている。

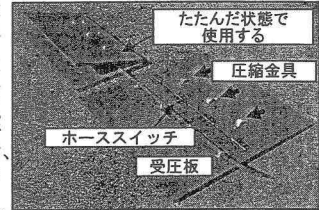


図-3 受圧板式センサ

3. 落石センサ性能試験

3.1 性能試験概要

性能試験は、(1) 落石検知信号が確実にデータロガーに記録されるか (2) 検知可能な落石の重量 (3) 落石が当たった際の破損状況 といった項目の確認を目的として実施する。

試験フィールドとして、高さ8m、斜面勾配33度の凹凸の少ない斜面を選定した。斜面途中に3種のセンサを設置し、人的に石を上部より落下させてセンサの挙動をビデオカメラで記録した。落下させる石は0.5kg～26kg まで9種類を用いた。検知の記録には当社製のデータロガー（FGC-02 型）を使用した。

3.2 性能試験結果

目的(1)＝落石が連続で当たった際、データロガーの動作速度が追いつかず記録されない場合があった。この問題はデータロガーのメモリ書込み時間を短縮することで解決できた。

目的(2)と(3)＝各センサが破損を起こさずに検知できた落石重量の範囲を図-4に示す。実線は当たればほぼ100%検知できる範囲、点線は軽すぎて精度が落ちるか、重すぎてセンサ破損の恐れがある範囲を示す。

実験に使用した石の重量と落下高さを位置エネルギーで表すと、最大2kJで、通常の落石防護ネットが小規模破壊する程度のエネルギーである。

試験 落石	落 石 重 量 (kg)							
	0.5	2	4	8	12	16	20	26
	落石位置エネルギー (kJ)							
	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0			
ネット式								
振子式								
受圧板式								

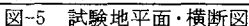
図-4 各センサの適応落石重量（試験データによる）

3種類のセンサには各々特徴があり、斜面の勾配や植生、想定される落石の大きさによって使い分けるか、組み合わせて用いる必要がある。

- ### (1) 試驗目的

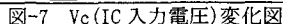
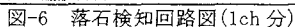
(2) 試験斜面

(3) 期間 2003 年 7 月～継続中(2004 年 5 月終了予定)



現地で必要な設置作業は以下の項目である。監視局舎や落石センサ本体は事前に組立て据え付ける。

- 図-6 に、データロガー内の落石検知回路図を示す。落石検出で重要なのは、検出 IC の入力電圧 V_c と回路絶縁抵抗 R_z である。 Sw は落石センサを指す。



よって屋外での連続使用時には、 R_z を低下させる要因(結線部の水濡れによる短絡など)が発生しないよう留意する必要がある。

(1) 概要

落石計数試験は、融雪で落石が頻発する時期および消雪直後で植生が無く崖壁の崩れやすい時期のデータを取得する目的で、10月中旬から継続中である。本論では1月上旬までのデータを解析対象とした。

記録データは以下の書式の txt 形式ファイルである。

2003/10/15, 16:36:12, 0,0, 1,1, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0
年月日 ,時刻, 1ch, 2ch, 3ch, , 8ch,

落石の大きさに関わらず、1個の落石については1個のデータが記録される。上記書式は2チャンネル(ch)に落石が記録された例である。データロガー1台には8chまで搭載できる。また個々のchには、複数台のセンサを並列接続できる。

ネット式・振子式センサの直下に落石捕獲網を設置しておいたところ、試験中にかかった落石は7個だった。よって落石の総数は、多くとも数十個と思われる。

対して、同期間の記録データ数は多数に上った。この要因として表-1 のような問題点が指摘でき、これに伴うエラーデータを除いた結果、15 個のデータが記録されていた。よって落石は 10 月 17 日～12 月 26 日にかけて、15 個程度発生したものと推定した。

今後は表-1 の改良を実施し、センサの精度と耐久性の向上を図ることが課題である。

表-1 落石検知システムの問題点と改良点

項目	問題点	改良点
データ ロガー	エラーデータの頻発時に、複数 ch で同時に ON を記録することがある	●検出回路のチェック ●ソフトウェアでエラーデータを自動排除
ネット 式	感度が鋭敏すぎ、強風によるネットの揺れで誤作動する（西北西～南南東の風が吹く場合）	●揺れ防止の重りを追加 ●設置方法変更（落石防護柵の背後に設置するなど） ●ワイヤ張力を強化し鈍感化
振子式	受振部の斜面への引っかかり	●設置位置の地面整形 ●地面の被覆方法
	強い北風による振子の揺れで誤作動する	●検知精度の鈍感化
受圧板 式	降雨、融雪水浸透による受圧板の重量増と歪み	●水の浸透が無く歪みが生じない材料に変更
	温度によるホーススイッ치의硬度変化	●バネにより板の重量軽減 ●温度-硬度-設置面斜度の相関を調査

(以上)