

落石検知システムに用いるピエゾ極限センサの基本特性試験
Basic Characteristic Test of Piezo-Electric Limit Sensor for Rockfall Detection System

○西村旭正*, 佐々木拓哉*, 中正和久*, 下井信浩*

○Akimasa Nishimura*, Takuya Sasaki*, Kazuhisa Nakasho*, Nobuhiro Shimoi*

*秋田県立大学

*Akita Prefectural University

キーワード：落石(Rockfall), ヘルスモニタリング(Health Monitoring),
ピエゾセンサ(Piezoelectric Sensor)

連絡先: 〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4

秋田県立大学大学院 システム科学技術研究科 機械知能システム学専攻

西村 旭正, Tel: (0184)27-2220, Fax: (0184)27-2188, Email: m18a022@akita-pu.ac.jp

1. 諸言

日本の国土の 70%以上が山地であり, そのほとんどが急斜面・急傾斜な地形である. このような斜面には多くの岩塊が存在し, 落石災害をもたらす危険性がある. 落石は, 降雨, 風, 地震など様々な自然による影響が重なって発生するため予知・予測が難しい災害のひとつである.

落石は, 斜面によって被害の大きさが変わる災害である. 岩塊が斜面の高い場所から落ちた場合の危険度は極めて高く, 斜面の下に存在する家屋, 交通, 列車などに大きな影響を与える³⁾. 落石の危険度は, 現場の技術者が実際に現地調査を行い採点法に従って評価を行っている. しかし, この評価方法は目視を主体としており, 現場技術者による主観的な判断に依存す

ることが多い. また, 危険度の評価は経験によって個人差が生じる. さらに, 現場の技術者の数が不足しているため, 調査が行き届かない場所も多い¹⁾. このため, 斜面に存在する岩塊の評価を行う新たな手法の開発が望まれている.

これを受けて, 我々は落石注意箇所に低コストの簡易計測センサ(以後, 極限センサと表記する)を設置し, 常時監視可能な危険予知システムを構築する研究を行っている. 本研究では岩塊の下部に簡易計測センサを張り付けて, 不安定な岩塊の状態を定量的に評価することの実現可能性について, 実験を行った. 本研究で用いた極限センサは, ピエゾフィルムとガラス板を用いて試作した. センサの基本特性の評価には荷重試験機による繰り返し荷重試験を実施した.

2. 従来の健全性評価手法

従来、転石、浮石の評価には風や波浪などの自然現象や、機械などの人工的振動などによって引き起こされる常時微動を検出する手法が用いられている。後述する2種類のセンサを用いた手法では、異常箇所と正常箇所の振動差を計測することによって危険度判定を行う。

2.1 光学式センサ

光学式センサは測定対象物にレーザ光を照射し、物体の有無や動きの変化を検出する。計測機器の一つとしてレーザドップラ速度計(Laser Doppler Velocimeter)が挙げられる。レーザ光を振動する対象物に照射すると、物体からの反射光はドップラー効果により波長が変化する。レーザドップラ速度計はその波長の変化を測定し、物体の速度を非接触で測定する機器である。さらに測定結果をFFT処理することで構造物の固有振動数を算出することができる²⁾。

Fig.1 にレーザドップラ速度計の例として、グラフテック株式会社製レーザドップラ速度計「U ドップラー」のシステム構成例を示す⁴⁾。システム構成はセンサ部と収録部の2つに大別されており、収録部には2台のセンサ部の接続でき、同時に2箇所の振動測定が可能である。導入には1計測ユニット当たり600万円程度かかる。

2.2 振動センサ

振動センサにより振動特性を計測して危険度を測定する手法を Fig.2 に示す。本手法では、岩塊と地盤部分に振動センサを設置し、それぞれの振動を比較することで振動特性を得る。このようにして得られた岩塊部の振動測定記録から、基盤部の振動測定記録を除くことによって、岩塊の振動特性スペクトルが求まる。この特性スペクトルから、振幅の大きさや揺れる



Fig.1 レーザドップラ速度計「U ドップラー」の計測システム構成例²⁾

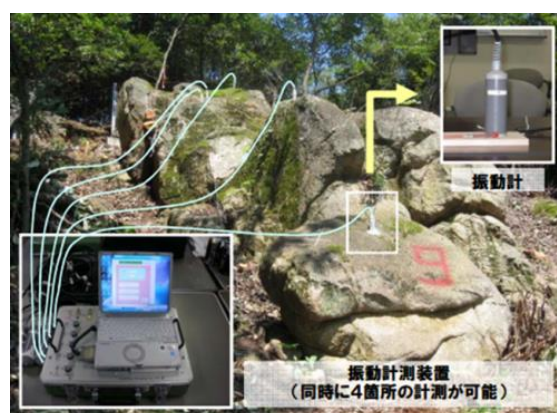


Fig.2 振動センサ構成³⁾

速度、揺れの収まりやすさを算出し、岩塊の危険度を把握する³⁾。

3. 研究使用センサ

常時微動を計測する手法は電力供給が必要であり、また計測装置が高価であることから、長期的な監視には向いていない。本研究では安価かつ電源供給が不要な圧電センサを使用し、上述の手法の欠点を解消することを目指している。

3.1 ピエゾフィルム

本研究で使用した簡易計測センサには、圧電素子(ピエゾフィルム)を用いた。圧電素子とは圧電効果を生じる物質を指す。ある物質に振動

などの外力によりひずみを生じさせると、その物質に電位差が生じる。また、その逆に電界中に物質を置くとひずみが生じる。前者の現象を圧電効果、後者を逆圧電効果という。圧電効果を生じる圧電性物質には、水晶やロッシェル塩、高分子圧電フィルム、圧電セラミックス等がある。

圧電素子を利用することで、荷重やひずみを電圧の変化として測定することが可能である。実例としては、ヘッドフォン・スピーカー等の音響機器、加速度センサやひずみゲージ等の各種計測機器等、多数挙げられる。

3.2 ピエゾ極限センサ

極限センサの構造を Fig.3 に示す。落石箇所への設置を目的としていることから、ピエゾフィルムのリベット部分に負荷荷重が集中することを避けるため、上板を 10mm 切り取り、リベット部分にガラス板が重ならないように設計した。本センサに力が加わるとガラス板が変形し、ピエゾフィルムに電圧が生じる。この出力電圧の大きさを測定することにより荷重値を算出し落石の発生を予見する。

4. センサ特性試験

4.1 試験方法

センサ特性試験は、Fig4 のように試験機に治具を設置して行った。荷重試験は金属片の裏側にセンサをシリコン接着剤で張り付け、治具に両端支持で固定し、点荷重を加えて実施した。試験体として用いたセンサの個数は計 5 個で、経年により少しずつ変化が起こることを想定して試験機を速度を 6.0 [mm/min]とした。破断荷重の測定では 100[N]から破断が起こるまで加える負荷荷重を 100[N]ずつ大きくしていき、繰り返し荷重試験を行った。

センサ出力の測定には日置電機株式会社製

メモリロガー「LR8431」を用い、サンプリング周期を 10 [ms]として記録を行った。

4.2 試験治具

試験治具はジュラルミン材料 A2017 で作製した。治具と下板の固定および試験片の固定には六角穴付きボルト M6×15 を使用した。

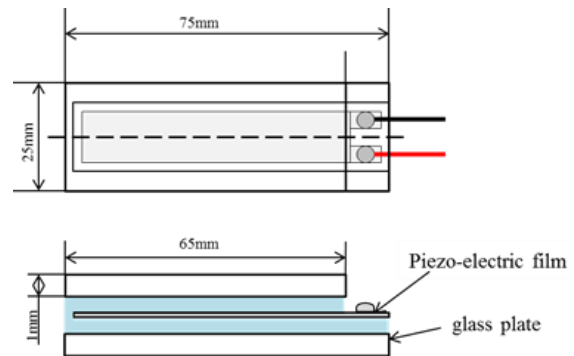


Fig.3 極限センサ外観および寸法

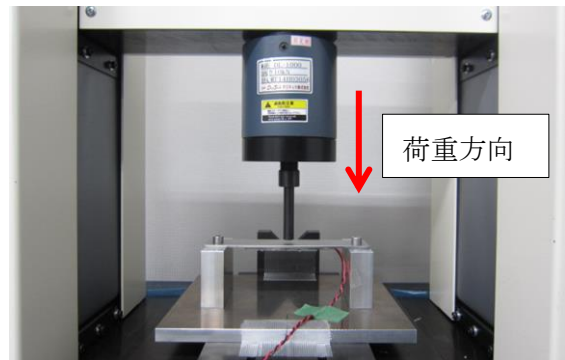


Fig.4 試験状況

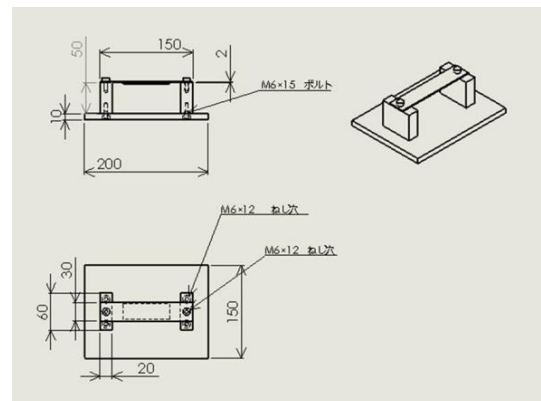


Fig.5 試験治具

5. 試験結果

5.1 荷重と出力電圧の関係

荷重試験の結果を Fig.6 に示す. また, Fig.7 に各荷重値における出力電圧の平均値とばらつきを示す. Fig.6 は横軸に 100[N]から破断前のピーク荷重までの値をとり, 縦軸には各荷重値における出力電圧をとる. 試験結果から, 極限センサに加わる荷重が増加すると, 出力電圧も線形に増加していく傾向が読みとれる.

また, 試験体により全体的にばらつきが大きく発生し, 最大で $\pm 1.75[\text{mV}]$, 全体の平均として $\pm 1.32[\text{mV}]$ の誤差が生じていた.

5.2 破断点における荷重と出力の関係

それぞれの試験片における破断時の出力結果と破断荷重を Fig.8 に示す. センサの過半数は荷重 600[N]~700[N]で破断した. また, センサ破断時の出力電圧は破断前に比べて 10 倍~300 倍の値となった.

6 考察

本研究では落石の危険予知を目的とした極限センサを試作し, センサ両端を支持した状態で負荷試験を行うことによって, センサの基本特性を調査した. 本研究により, センサ破断時にガラスが割れると同時に圧電素子から特徴的な出力値が得られることが検証された. さらに, 荷重の変化に対してセンサの出力電圧も線形に変化することが検証された.

また, 荷重と出力電圧の関係について線形近似データとの比較を行ったが, 平均 $1.32[\text{mV}]$ の誤差が発生した. この原因としては, 接着剤の量が均一でなかったことや, 出力電圧が $10[\text{mV}]$ 以下と小さく, センサの個体差が大きく影響したためと考えられる.

今回の実験では, 両端を固定した変位試験を

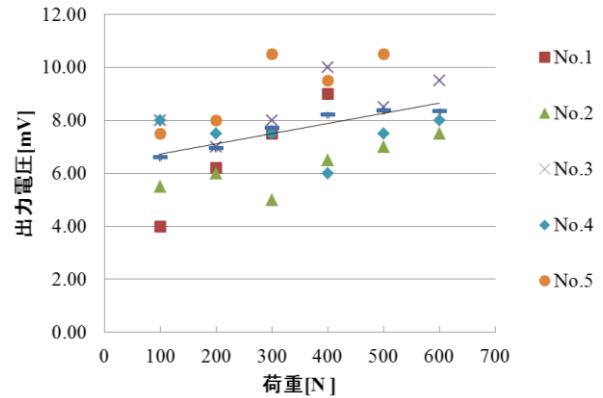


Fig.6 No.1 から No.5 荷重 - 出力電圧

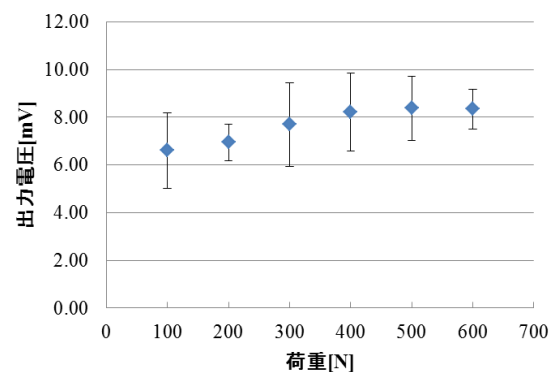


Fig.7 荷重 - 出力電圧 (分散)

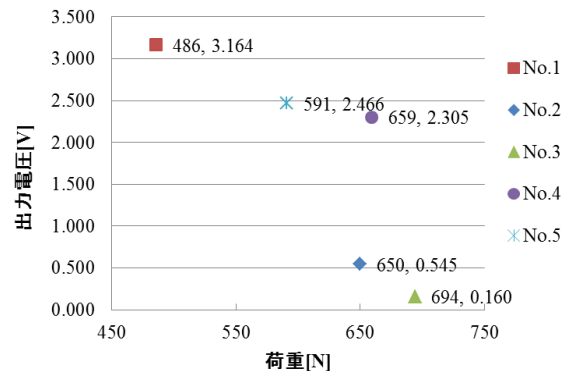


Fig.8 破断時の荷重 - センサ出力電圧

行ったが, 実用化に向けて, さらに面方向の圧縮と長手方向の引張りについて特性試験を行う予定である.

参考文献

- 1) 深田隆弘・森泰樹・澁谷 啓：「線路への影響評価に基づく落石リスクマップの作製手法」土木学会論文集 C(地圏工学), vol.68, No. 1, 199-212(2012)
- 2) グラフテック株式会社ホームページ (2016年1月現在),
http://www.graphtec.co.jp/site_instrument/laser/u-doppler/index.html>
- 3) 落石危険度振動調査 - 地質計測
<<http://www.chishitsu-keisoku.co.jp/pdf/ra-kuseki.pdf>>