

仮設防護柵に設置する斜面崩落検知センサの開発

千田容嗣* 武士俊也** 石田孝司*** 坂野弘太郎****

1. はじめに

仮設防護柵は、山間部での道路拡幅工事や災害復旧工事などを行う際に、工事が完了するまでの通行車両の安全確保のために設置されているが、仮設防護柵では抑止しきれなかった大規模斜面崩壊に巻き込まれて、通行車両が被災する事例もみられる(写真-1)。



写真-1
幅30m、高さ35m、
崩壊土砂量1,100m³
の崩壊により被災し
た仮設防護柵

大規模な落石や斜面崩壊が発生する前には、前兆現象として落石や小崩落が発生することがある。このような現象を検知することにより、大規模斜面崩壊の発生を事前に予測して対応することができれば、道路利用者の危険回避につながるものと考えられる。そこで、土木研究所と応用地質(株)、(株)大林組、川崎地質(株)、日本工営(株)との共同研究により平成21年～平成23年にかけて、図-1に示すように仮設防護柵への設置を想定し、仮設防護柵に落石が当たった時の仮設防護柵の振動を検知する「斜面崩落検知センサ」を開発した¹⁾。

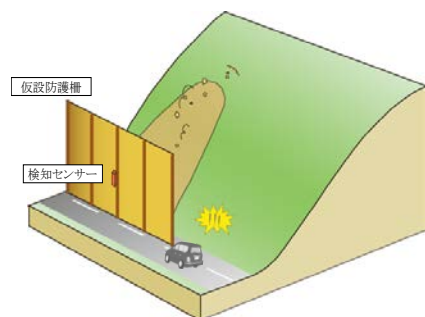


図-1 検知センサの適用イメージ

本報告では、検知センサの現場への適用可能性を確認するために実施した実験結果を報告する。実験では、デジタルバンドパスフィルターの設定範囲の適正さや1つのセンサの検知範囲を確認するために予備実験を行った後、現地実験を行い、落石検知の適用性を調査した。

2. 検知センサの概要

共同研究で開発した斜面崩落検知センサは、ノイズとの分離性の良い²⁾速度型振動計を用いたセンサ(以下、「速度型検知センサ」と呼ぶ)とノイズとの分離性は速度型検知センサと比べて芳しくない²⁾が廉価な加速度型振動計を用いたセンサ(以下、「加速度型検知センサ」と呼ぶ)の2種類である。いずれもデジタルバンドパスフィルターによる特定周波数帯域の振動を検知可能である。特に、前者は振動波形を区分可能なアルゴリズムを搭載する。詳細は「斜面の崩壊の検知センサと検出システム」共同研究報告書¹⁾を参照されたい。



(a)速度型検知センサ



(b)加速度型検知センサ

写真-2 斜面崩落検知センサ

3. 現地実験

3.1 実験場所

実験は、栃木県日光市足尾町内の山腹工が施工されている松木川左岸斜面で実施した。仮設防護柵の設置場所は、開口亀裂が多数認められ、落石発生の可能性が高い、急崖下の平地とした(写真-3)。仮設防護柵の形状は、実態調査³⁾から使用事例の多いと思われるタイプ(高さH=4.0m, 支柱: H形鋼150×150×7×10mm, 横矢板: 軽量鋼矢板LSP-1型, 板厚t=4mm)を選定した(図-2)。



写真-3 仮設防護柵の設置状況

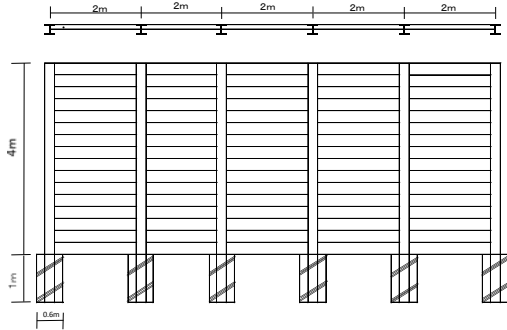
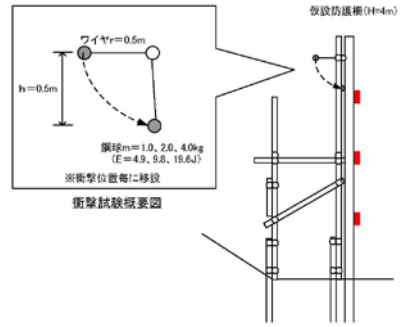


図-2 仮設防護柵の詳細図



衝撃試験概要図

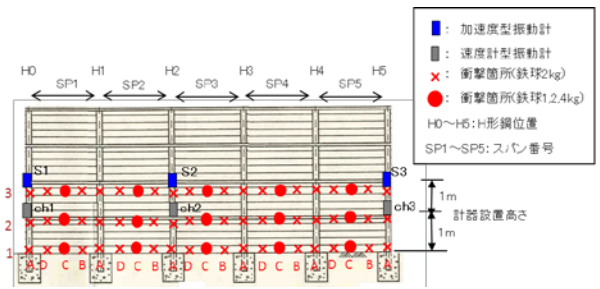


図-3 予備実験概要図

3.2 予備実験

3.2.1 実験方法

実験では、落石の衝突する位置や衝撃力の違いによるセンサの検知範囲を把握するため、高さ0.5mから長さ0.5mのワイヤーの先端に質量の異なる鉄球(1, 2, 4kg)を取り付けた振り子を仮設防護柵に衝突させて、衝突位置やエネルギーの違いによる振動特性(周波数特性及び最大速度振幅(速度型検知センサ)あるいは加速度最大振幅(加速度型検知センサ))を調査し、実験計画の有効性を確認した(図-3)。

3.2.2 実験結果

(1) 衝撃エネルギー等の違いによる周波数特性

周波数と速度スペクトルとの関係を図-4に示す。

1) 速度型検知センサ

衝撃エネルギーの大きさに関わらず卓越する周波数が190Hz前後、280Hz前後及び550~600Hz前後に確認された。

2) 加速度型検知センサ

速度型崩落検知センサの測定結果と同様、衝撃エネルギーの大きさに関わらず、卓越する周波数が180Hz、270Hz、400Hz付近に確認された。

上記のように、両センサとも鉄球が仮設防護柵に衝突すると、180Hzから600Hzの範囲で複数の卓越する周波数の出現が確認された。

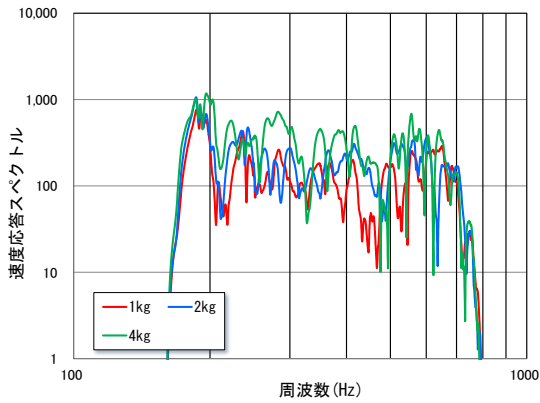
(2) 衝突位置の違いによる振幅特性

1) 速度型検知センサ

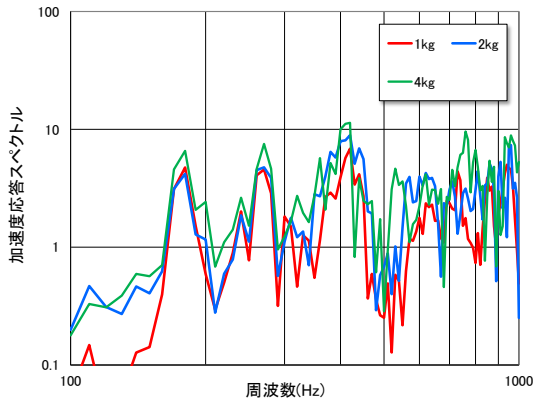
検知センサを図-3に示したSP1に設置し、質量2kgの鉄球を各スパンの左端、中央、右端に衝撃を与えた時に計測された速度最大振幅の平均値を図-5に示す。衝撃を与えた高さ(スパン)減衰傾向は、1スパン離れたSP2では約3,000~2,000($\mu\text{m/s}$)に減衰し、4スパン離れたSP4では検知できなかった。衝突位置については、2段目に衝突した時に速度最大振幅が一番大きくなる傾向がみられた。次に2段目の各スパンの中央に質量1kg、2kg、4kgの鉄球を衝突させ、SP1に設置した検知センサで計測した結果を図-6に示す。各スパンで衝撃力(鉄球の質量)が大きくなるほど速度最大振幅が大きくなる傾向がみられた。

2) 加速度型検知センサ

速度型検知センサと同様の条件で実施した実験結果を図-7に示す。実験の結果、衝撃を与える高さ(スパン)の減衰傾向は、1スパン離れると、約100(m/s^2)に減衰し、2スパン以降は衝撃を与える高さに関わらず、ほぼ同一値であった。また、検知センサの検知できる範囲は、検知センサから3スパン程度までであった。衝突位置については、3段目に衝突した時に加速度最大振幅が一番大きい傾向がみられた。次に3段目の各スパンの中央に質量1kg、2kg、4kgの鉄球を衝突させ、SP1に設置した検知センサで計測した結果を図-8



(a)速度型検知センサ



(b)加速度型検知センサ

図-4 エネルギーの違いによる振動特性

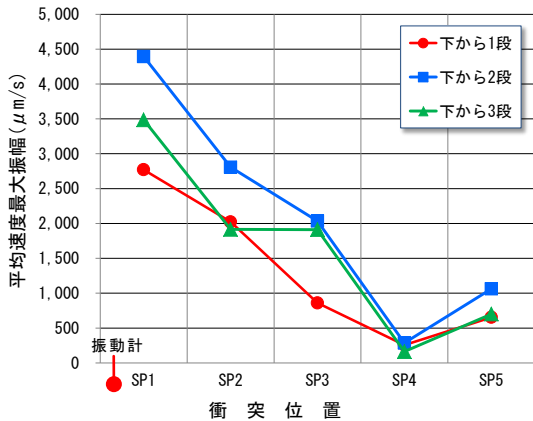


図-5 衝突高さの相違と平均速度最大振幅

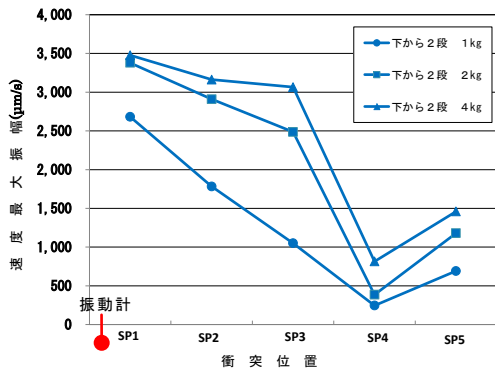


図-6 衝撃力の相違と速度最大振幅

に示す。SP1を除き衝撃力に関わらず、加速度最大振幅がほぼ同一値で減衰する傾向がみられた。

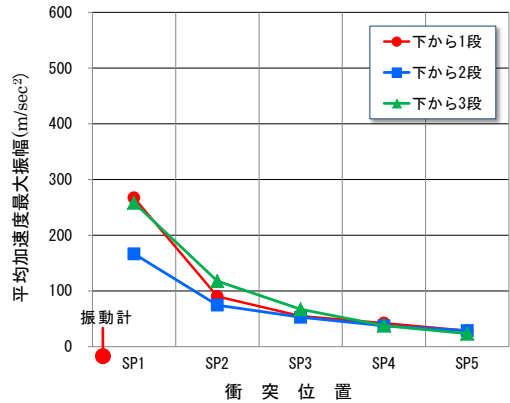


図-7 衝撃位置と平均加速度最大振幅

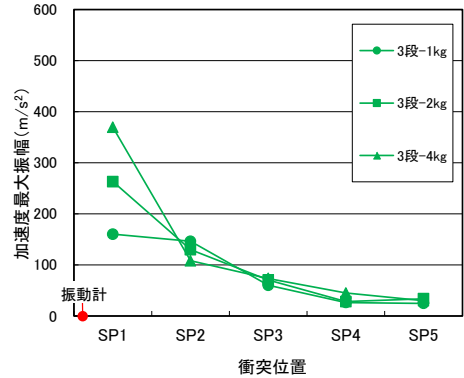


図-8 衝撃力の相違と平均加速度最大振幅

3.3 現地実験

3.3.1 実験の概要

現地実験では速度型及び加速度型検知センサを用いて平成22年12月8日から平成23年4月16日まで観測を実施した。本実験は予備実験の結果に基づき、周波数帯域150Hz～600Hzのデジタルバンドパスフィルターを設定した。また、速度型検知センサでは、空電ノイズを除去するため、抽出条件として振動継続時間を0.1秒未満の振動を空電(雷)ノイズとして処理した。加速度型検知センサでは、直径5cm程度の石が数10cmから転げ落ちた程度の衝突が生じた場合でも検知できるように振幅レベル値を0.05Gに設定した。落石イベントの検証は、監視カメラの映像との対比により行った。

3.3.2 観測結果

ここでは、代表事例として速度型検知センサで平成23年2月23日から4月11日までに観測された落石イベント(頻度)とその累積数との関係を示す(図-9)。観測の結果、観測期間に直径5cmから50cm程度の落石が発生し、観測された最大振

幅値は約40 μ m/sから約14,200 μ m/s、中央値は約600 μ m/sであった。また、1時間あたりの検知数が比較的多い2月25日は、強風のため飛砂が生じていることが確認された。さらに、3月11日は、東北地方太平洋沖地震に起因した落石によるものであると考えられた。なお、今回の観測期間中で最も多い落石検知数を記録した3月26日は、計画停電のため、監視カメラが停止し、状況が確認できなかった。

4. まとめ

今回の現地実験の結果、下記が確認された。

- (1) 周波数帯域150Hz～600Hzのデジタルバンドパスフィルターを設定すると、落石が仮設防護柵に衝突する際に発生する振動を捉えられた。
- (2) 斜面崩落検知センサは、直径5～50cm程度までの落石を検知した。
- (3) 1つの検知センサで検知できる範囲は、3スパン程度であった。
- (4) 東北地方太平洋沖地震時に連続して発生した落石も、ほぼ確実に捉えられた。

今後、このような落石や小崩落の観測データを蓄積しデータを評価分析することにより、現場により適切した活用をするための改良や工夫を行っていく必要がある。

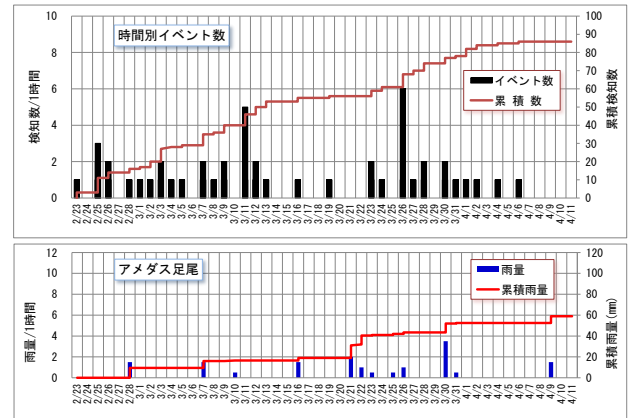


図-9 観測されたイベント数と降雨状況

謝 辞

関東地方整備局渡良瀬川河川事務所の関係者の皆様に多大なるご協力をいただきました。ここに記して厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所、応用地質(株)、日本工営(株)、川崎地質(株)、(株)大林組：斜面の崩落の検知センサと検出システムの開発、共同研究報告書第446号、2013.1
- 2) 坂野弘太郎、武士俊也、石田孝司、山本彰、矢部満、中田文雄、稲垣裕：仮設防護柵を対象とした斜面崩落の検知センサと検知システムの開発、第51回地すべり学会研究発表会講演集、pp.70～71、2012.8
- 3) 財団法人経済調査会：切土及び発破防護柵工、建設マネジメント技術8月号、pp.75～77、2000.8

千田容嗣*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 総括主任研究員
Yoji CHIDA

武士俊也**



国土交通省大臣官房（前
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 上席研究員）
Toshiya TAKESHI

石田孝司***



国土交通省四国地方整備局
四国山地砂防事務所長（前
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 主任研究員）
Koji ISHIDA

坂野弘太郎****



奈良県県土マネジメント
部 深層崩壊対策室（前
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 交流研究員）
Kotaro SAKANO