

VI-17

速度計を用いた落石検知システムについて

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 日下部 裕基
 計測技販株式会社 正会員 後藤 雪夫
 (株)構研エンジニアリング ○正会員 福田 良成

1.はじめに

平成8年に発生した豊浜トンネル崩落事故、および平成9年に発生した第2白糸トンネル崩落事故を契機に、北海道開発局では崩落監視に関する調査研究に取り組んでいる。第2白糸トンネル崩落事故で発生した2次崩落の際には、2日前から小落石の頻度が増したことから、小落石を検知することで岩盤斜面の安全監視の一補助手段として活用可能と考えられた。そこで速度計を用いた落石検知システムの開発に取り組み、岩盤斜面防災工事箇所20箇所所に試験的に設置した。

本論文は、開発した落石検知システムの紹介と防災工事現場に採用した設置調整時データを整理し、落石検知システムの有効な使用方法について、検討を行なった結果を報告するものである。

2.落石検知システムの概要

落石感知システムは、落石により発生する地盤の振動を速度計により感知し、データロガーで落石の回数および波形を記録するものである。現在このセンサーは急崖斜面防災工事現場において、工事の安全監視の補助手段として設置されている。

落石検知システムの概略図を図1に示す。

落石検知センサーの仕様

型番 : L-28LB (V)
 検出方式 : 速度型
 感度方向 : 上下方向
 感度 : 1.6 mV/IN/SEC.
 固有振動数 : 4.5 Hz

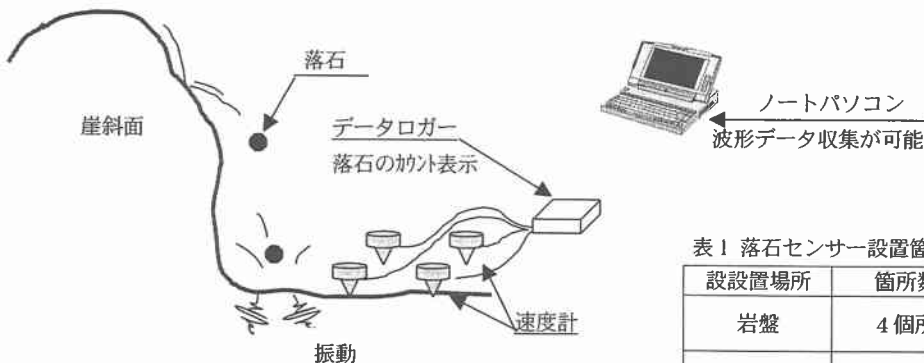


図1 落石検知システム概略図

表1 落石センサー設置箇所数

設置場所	箇所数
岩盤	4 箇所
土砂、盛土	15 箇所
コンクリート 構造物	6 箇所
鋼構造物	3 箇所

3.設置状況

急崖斜面防災工事への設置場所別 設置状況と箇所数を表1に示す。

A Study on Rock Fall Detection System Using Velocity Type Transducer.

By Kenji Ikeda, Yuki Kusakabe, Yukio Goto, Yoshinari Fukuda.

4. 設置調整方法および結果

落石検知システムにより得られる信号は落石による振動のほか重機振動、一般交通振動、風や波による振動などの雑音がある。従って各現場ではデータロガーでしきい値の設定を調整することにより雑音を除去している。ここでは各現場で行われた代表的な設置試験調整結果を報告する。

現場でのしきい値設置調整方法は一定時間 無落石時の計測を行い、雑音信号を検知しない振幅値を把握して しきい値を決定する。その後可能な場合は人為的に落石を投下し、落石の大きさとセンサーからの距離の違いによる出力値を把握することで、実用時の目安とする方法で行った。

図2、図3に落下高さ 1.00m の場合の設置試験調整結果を示す。(しきい値は図中に破線で表す)

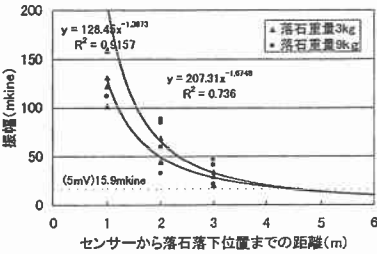


図2 岩盤

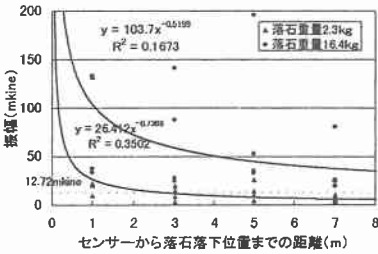


図3 コンクリート構造物

図4、図5に落下高さ 70m(斜面頂部) の場合の設置試験調整結果を示す。(しきい値は図中に破線で表す)

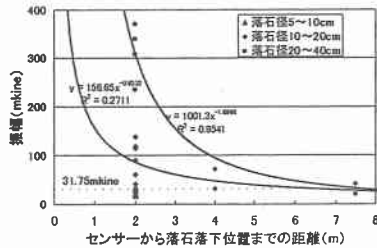


図4 土砂

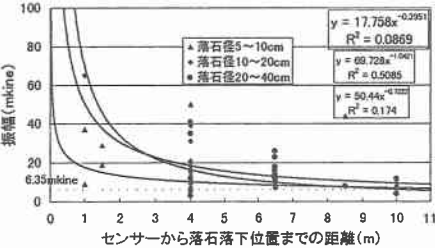


図5 盛土

図2から図5よりセンサー設置地盤が岩盤、コンクリート構造物、土砂、盛土に設置した場合で、重機作業を行っていない場合の雑音は概ね 6.35mkine～31.75mkine (データロガーの入力値で 1mV～10mV) のしきい値で除去が可能である。

次に鋼構造物に設置した場合の例を図6に示す。この現場では鋼製覆道の横断方向に仮設の鋼板を設置し、その上部に盛土を行った内部に設置したものである。当箇所では無落石時においても風により鋼板が振動し、雑音レベルが非常に高い現場であった。ここではしきい値を 127mkine (データロガーの入力値で 40mV) に設定している。仮設構造物で共振しやすいものへの設置は雑音レベルが上がるが、逆に小落石でも設置面自体が共振し、広範囲に落石検知が可能な場合もあることが解かる。

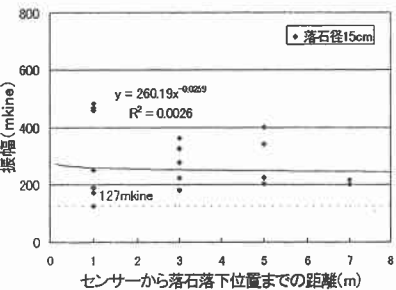


図6 鋼構造物に設置した場合

5. 波形特性による雑音除去方法の検討

しきい値の設定による雑音の除去では、遠方での大きな落石検知や雑音レベルが大きい場所での落石検知の精度が低下している。従って、センサー設置位置の違いによる落石波形特性と各種雑音の波形特性を把握することで、しきい値以外での雑音除去方法の可能性について検討を行なった。

図 7 に岩盤にセンサーを設置した場合の落石検出波形を示す。落石による波形は立ち上がりが鋭く、継続時間も短いパルス状である。

図 8, 図 9 に土砂および盛土に設置した場合の落石検出波形を示す。どちらも立ち上がりは鋭いが継続時間が 1sec. 以下程度となった。また図 9 の盛土の例では落石を 70m の高さから落下させたため、落石がバウンドしたと思われ、振幅に数回のピークが認められた。

図 8 の土砂での落石波形をフーリエ変換した波形(FFT 解析結果)を図 10 に示す。このときの卓越周波数は 20Hz 程度である。

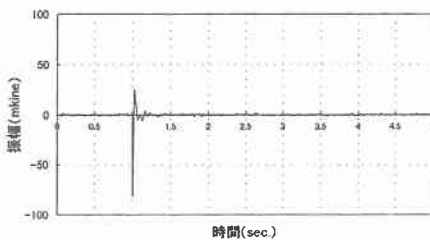


図 7 岩盤での落石波形

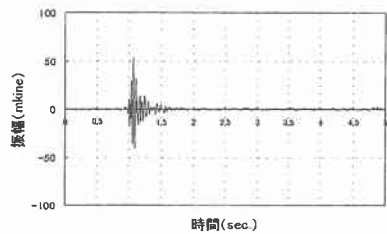


図 8 土砂での落石波形

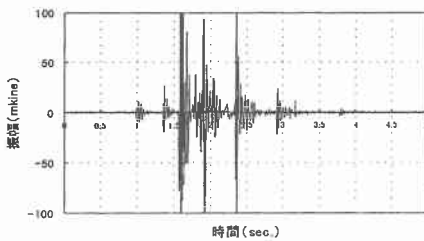


図 9 盛土での落石波形

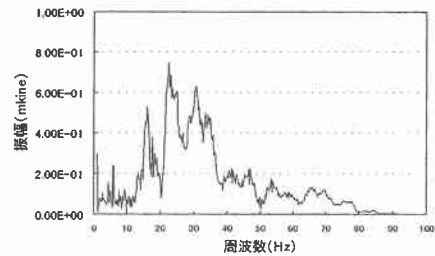


図 10 FFT 解析結果 (土砂)

図 11, 図 12 に仮設覆工上部に設置した場合の落石波形と FFT 解析結果を示す。落石波形は他の設置箇所と比べ継続時間が長い。卓越周波数については 15Hz 程度である。

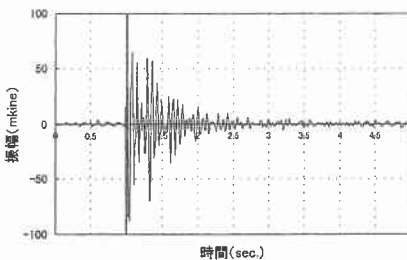


図 11 仮設覆工上での落石波形

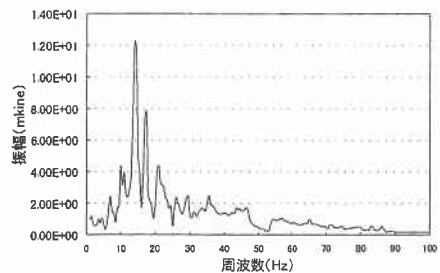


図 12 FFT 解析結果 (仮設覆工)

図13, 図14に交通振動の波形とFFT解析結果を示す。交通振動の場合 数回のピークを持ち継続時間の長い波形であり、卓越周波数は15~20Hzである。

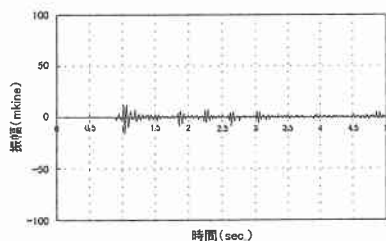


図13 交通振動波形

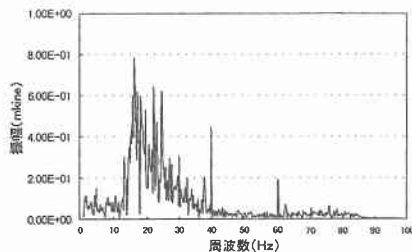


図14 FFT解析結果（交通振動）

交通振動波形は、岩盤に設置した場合の落石(図7)とは波形特性が違いため、識別は可能である。また土砂、盛土、仮設覆工などは波形の差がなく、卓越周波数についても交通振動の方が落石振動(図10)より若干低周波側ではあるが、明確な差は見られず落石と交通振動の識別は難しい。しかし道路縦断方向にセンサーを並べて設置した場合の交通振動による雑音は、複数の各センサーから順に時間差を置いて信号が到達する傾向が見られたため、データを確認することにより落石と雑音を分離することも可能である。

図14, 図15に風によりセンサー設置部が振動した場合の検出波形とFFT解析結果を示す。風による雑音は振幅が一定であり、卓越周波数は5Hz程度である。

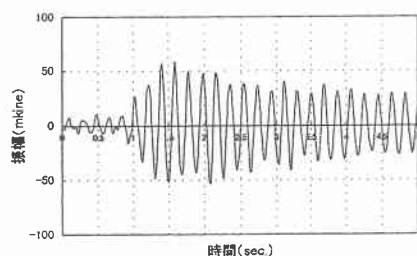


図14 風による雑音波形

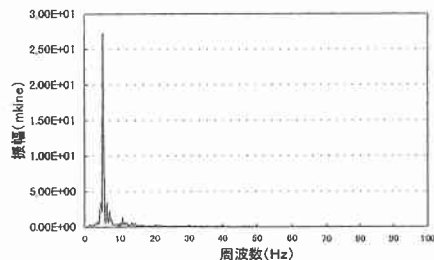


図15 FFT解析結果（風）

周波数特性では風による雑音の場合卓越周波数が5Hz程度であるのに対し、同一箇所に設置した場合の落石の卓越周波数は15Hz程度(図12)で明確な差が表れた。低周波成分を除去することで雑音の除去が可能である。その他の雑音による検出波形として、重機による雑音波形については振幅値が大きく波形も乱れていることから、落石との識別は容易であると思われる。

6.まとめ

本論文では防災工事現場に採用した設置調整時データを整理し、落石検知システムの有効な使用方法について検討を行なった結果、以下の雑音除去方法の可能性があることが解かった。

- 1) 岩盤に設置した場合落石の波形はパルス状の鋭い形状になる為、立ち上り時間または継続時間などにより、各種雑音と識別できる可能性がある。
- 2) 土砂、盛土、仮設覆工などに設置した場合の落石振動は、交通振動と明確な波形特性、周波数特性に違いが認められなかったが、縦断方向にセンサーを並べて設置した場合の雑音は、複数の各センサーから順に時間差を置いて信号が到達する傾向が見られ、落石と雑音を分離することも可能と思われる。
- 3) 仮設覆工上部に設置した場合は、風などによる雑音と卓越周波数に明確な違いが認められたため、低周波成分を除去することにより落石波形の雑音を除去できる。

平成10年度 土木学会北海道支部奨励賞

昭和36年度に制定された土木学会北海道支部奨励賞授与規定により、平成10年度選考委員会委員としてつぎの5氏が支部長の委嘱を受け、平成11年3月11日藤田睦博氏を委員長とする選考委員会を開催し論文報告集第55号に掲載された284編の中から慎重審議の結果、つぎの3編を授賞の対象として選考し、平成11年4月16日の商議員会において、この3編に土木学会北海道支部奨励賞を授与することに決定した。

選考委員会委員長	藤田 睦博	北海道大学大学院工学研究科教授
選考委員会委員	能登 繁幸	北海道開発局開発土木研究所研究調整官
〃	岸 徳光	室蘭工業大学工学部建設システム工学科教授
〃	佐伯 昇	北海道大学大学院工学研究科教授
〃	加賀屋誠一	北海道大学大学院工学研究科教授

(学 術 上)

受賞者名 三好 章仁

論文題名 衝撃的载荷重下の斜角を有したRC橋脚の挙動
(共著者：三田村 浩、佐藤 昌志、岸 徳光)

選考理由

都市内高架橋や跨線橋、河川橋梁は、その交差物の条件により斜角を有する場合がほとんどであるが、これまで斜角を有する橋脚模型実験は例が無く、その動的挙動は明らかにされていない。本研究は、斜角70度の橋脚に衝撃荷重を加える模型実験を実施し、ねじれ挙動、荷重－変形特性などについて考察したものである。

結果を要約すると、以下の通りである。

- ②斜角を有する橋脚の挙動は、パルス的な波形入力直後にまず横軸方向へ最大応答加速度が生じ、その後斜角方向へ振動軸がシフトしながら回転運動となる。壁に損傷が発生すると、この回転運動はより顕著になる。
- ③壁左右の時刻歴加速度波形を重ね合わせると時間的ずれが生じており、弾性応答内でも左右加速度の相対的な差分によりねじりモーメントが発生している。
- ④実験で求められた最大耐力は、断面分割法における壁の弱軸と強軸を合成した耐力とほぼ同等な値となる。

このように、本研究では実験により矩形橋脚とは異なる挙動を明らかにしており、今後の橋梁耐震設計において有用な知見を与えている。よって本論文は土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学 術 上)

受賞者名 小室 雅人

論文題名 半剛結鋼骨組の動的挙動特性に関する一検討

(共著者：岸 徳光，松岡健一)

選考理由：

一般に鋼骨組の梁－柱の接合部は剛結接合もしくはピン接合と仮定して設計が行われている。しかしながら、実際の接合部は、溶接接合を除いて両者の中間的かつ非線形な剛性特性を有することが明らかになっている。そのため、実状に即した鋼骨組の限界状態設計法を確立するため、諸外国では接合部の非線形な剛性特性やその特性を考慮した構造解析法等に関する実験的・解析的研究が盛んに行われている。

このような背景より、著者らのグループは、半剛結鋼骨組の合理的な設計法の確立を目的として、半剛結接合部に関するデータベースの作成や接合部剛性評価式の提案、接合部の非線形特性を考慮した構造解析プログラムおよび有効座屈長係数の算定手法の提案など種々の検討を行ってきた。その結果、これまでの研究成果を有機的に組み合わせることにより、限界状態設計法に基づいた半剛結鋼骨組の静荷重に対する断面設計システムを構築している。しかしながら、地震多発国である我が国においては、静荷重時の他、地震等の動荷重に対する半剛結鋼骨組の挙動特性の把握は非常に重要なものと考えられる。一方、半剛結接合形式は大きな履歴減衰が期待できることから、耐震性向上の観点から優れた接合形式であることが明らかになっている。

本論文は、このような観点から、半剛結接合部の非線形な剛性特性を簡易的に線形パネに置換した場合について動的応答解析を試み、その挙動特性に関する検討を行ったものである。具体的には、一層一径間骨組を用いた定常加振解析および2種類の地震波形を用いた動的応答解析を行い、パネ剛性の違いによる骨組全体の挙動特性（応答加速度、応答変位など）に関する検討を行っている。

本研究は、半剛結接合骨組の耐震問題に関する基礎的な研究であるが、実験的研究や多層多径間骨組に関する応答解析等、実半剛結接合骨組の合理的な耐震設計法確立のための継続的な研究が期待される等、この種の構造物の耐震設計法確立に寄与するところ大であり、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学 術 上)

受賞者名 渡部 靖憲

論文題名 波動場における矩形構造物まわりの渦構造

選考理由:

近年、多くの海岸構造物に波浪による海底侵食に起因する被害が報告され、特に防波堤頭部の被害が顕著にあらわれている。この原因は、この領域において従来の流体運動及び海底侵食の見積が適切ではないためであり、構造物にはたらく流体力及び海底侵食機構の解明が望まれている。本研究は、剥離が大きく影響する堤頭部に作用する流体力及び海底砂移動の直接的な外力である海底面に作用するせん断力の時空間変動特性を3次元Large Eddy Simulationにより明らかにしたものである。

結果を要約すると、以下の通りである。

- ・本研究で提案する計算法により、剥離、碎波による乱流等流体運動スケールが異なる非定常流速場を計算可能となった。
- ・堤頭部を通過する波浪は、構造物まわりに発生する大規模剥離渦だけでなく、通過時に構造物に乗り上げた水面の落下に伴う旋回渦及び水平渦が同時に生成される。特に海底侵食に大きく寄与する剥離渦は、波浪通過後水面の低下に伴って締められるため渦強化がなされ、さらに底面砂の移動に寄与する。
- ・構造物の角部で動圧力が低下する。特に波浪通過後、この位置で大きな負圧が発生する。剥離渦が原因と考えられるこの急速な圧力変化は堤頭ケーソンの移動、倒壊に多大な影響を与える。
- ・実験的に報告されている侵食分布に類似した角部に集中するせん断力分布が得られている。波の通過を通して大きく変化するせん断力は、位相によって底質の移動特性が大きく異なる。

以上のことにより本研究は、海岸構造物の被災を未然に防ぐ設計法の確立のための基礎的研究として、今後の海岸工学及び港湾工学にとって非常に有益な知見を与えている。よって、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。