

落石危険度振動調査手法を用いた現地調査および判定システムの開発

- 落石の危険度を現地で判定するシステムの開発 -

(株) 高速道路総合技術研究所 (正) 竹本 将 (正) 藤原 優 (正) 横田 聖哉

地質計測 (株) 三塚 隆 甲斐国臣 岡本栄

1. まえがき

豊浜トンネルや第二白浜トンネルの岩盤崩落事故のような大規模な落石・崩落はもとより、小規模な落石事故においても人的・社会的影響は大きく、調査および対策に対する要望は高い。高速道路では振動特性を用いて落石の危険度を判定する研究が昭和 53 年 (1978) から実施されており、奥園ほか (1980)¹⁾により先駆的に報告されている。この手法は、浮石部と直近の安定した岩盤または地盤 (以下「基盤部」という) の振動において加速度振幅、振動数などの振動特性が異なることに着目し、その振動特性から落石の危険度を判定するものである。当時の研究では定量的・客観的な判定手法の開発には至らなかったが、その後の現地実用化に向けた試験計測や模擬実験の実施、さらに近年の機器の精度向上や統計学的データ処理方法の採用により現地に適用できる精度を有すると判断され、緒方ほか (2003)²⁾ではその取りまとめがなされた。一方、この手法による落石調査は実務に使用できる精度を有しているものの、計測機器は大きくかつ重く、また、計測データを用いた分析も室内に持ち帰り、複数のソフトを駆使しながらの手間のかかる作業であった。この度、本調査手法を効率的に実施するために、計測機器の軽量小型化、分析ソフトの統合・自動化ならびに現場において分析・危険度判定が可能なシステムの開発を行い、さらに現場における検証試験を行ったので、ここに報告する。

2. 落石危険度振動調査法の原理

本手法は、浮石部の振動特性と基盤部の振動特性を比較し、浮石部の落石危険度を評価するものである。浮石部と基盤部に振動計を設置して振動波形を測定する (図-1)。このときの浮石部の振動測定記録 $X_2(\omega)$ から、基盤部の振動測定記録 $X_1(\omega)$ を除することにより、浮石部の振動特性スペクトル $U(\omega)$ が求まる。この振動特性から速度振幅比や卓越周波数、減衰定数を求め、振幅の大きさや揺れる速度、あるいは揺れの収まりやすさから浮石部は危険度を判断するものである。

3. 現地計測判定システムの開発

現地計測判定システムはハード部分の計測装置とソフト部分の収録分析ソフトから構成される。

また、計測装置は収録分析装置と 3 成分振動計からなる。外観を図-2 に示す。収録分析装置はパソコンと増幅器、内部電池等からなり、トランクケースに収納することで運搬を容易にした (図-3)。

内蔵部品においては低ノイズの電子部品を使用することで、微小な信号を捕らえることが出来るようになり、精度の向上がなされた。また、データの分析では不適切なデータの選別から分析まで自動で処理されるようになった。振動計は同時に 5 つが接続でき、基盤部を 1 箇所にと近接する 4 箇所の調査が同時に可能となった。

5 つの振動計の計測データは、各々浮石部、基盤部を任意に選択することができるため、複雑な落石形態の

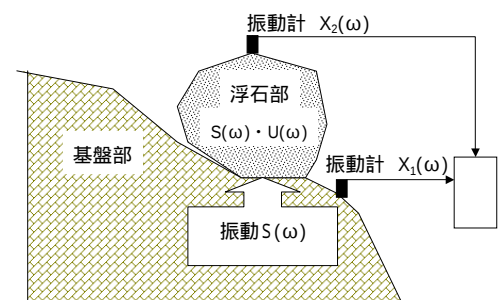


図-1 振動特性における理論



図-2 計測装置



図-3 収録分析装置の運搬状況

キーワード 落石, 危険度, 振動, システム

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 TEL: 042-791-1624 FAX: 042-791-2380

ときにも柔軟に対応させることが可能となった。また、収録したデータは搭載したパソコンにより即時分析が可能で、収集波形の確認やコヒーレンス（解析データの適性）、危険度判定結果を確認できるため、不必要に多くのデータを収集する必要がなくなり、調査および分析時間を削減することができた。さらに、振動計自体も従来のものから体積比・重量比で6割減の500mlのペットボトルサイズとなり、軽量化された。

4. 現地検証試験

調査は落石の危険性の高い岩塊（転石）が多数分布している現場で行った。現地では1回の測定において、5台の振動計を設置し、同時に複数箇所、計11箇所の転石の振動測定を行った。

開発した自動分析ソフトの検証のため、従来行われてきた分析（以下、従来分析）結果との違いについて検討を行った。図-4は、計測データ11箇所の3成分毎に、開発した自動分析と従来分析で算出された値の差を取ったものである。

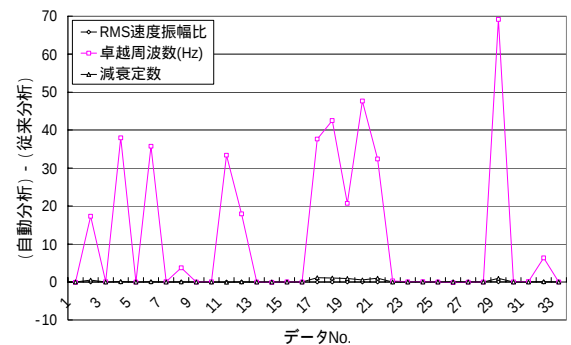
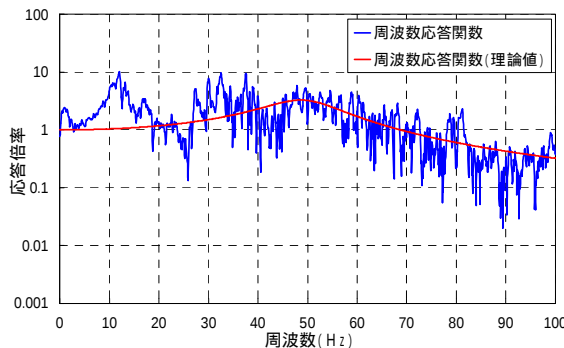
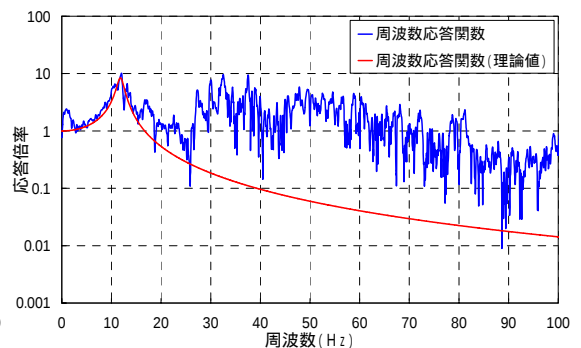


図-4 自動分析と従来分析の差異

ある。RMS 速度振幅比と減衰定数はほぼ同じ値を取るため差がなく、0付近にプロットされる。一方、卓越周波数はほぼ同じ値を取る場合と大きくかけ離れた



(a) 自動分析



(b) 従来分析

図-5 自動分析と従来分析の比較（データ No.4）

値を取る場合がある。図-5は自動分析と従来分析に差のあるデータ（No.4）の周波数応答関数を示す。周波数応答関数は同じ結果となっているが、分析による理論値のピーク（卓越周波数）に違いが確認できる。自動分析と従来分析の分析結果を危険度判定のグラフに示したものが図-6である。従来分析結果は安定領域および不安定領域中に分布しているが、自動分析では両領域から外れるものが見られる。この差は自動分析と従来分析の解析手法の違いによるもので、最小二乗法により全体的にフィッティングをかける自動分析と低い周波数のピークにフィッティングする従来法による違いであることが判明している。この問題は周波数応答関数に重み付けを加えることで解決できると考えられる。

5. まとめ

今回開発したシステムには、計測機器および分析ソフトの改良で調査・分析の合理化、効率化が図られた。本システムは試作機ながら一部の改良で実務に使用できる性能を有すると判断している。今後は本調査手法のマニュアル改訂を行い、広く普及を目指したい。

参考文献：1) 奥園誠之・岩竹喜久磨・池田和彦・酒井紀士夫(1980)；振動による落石危険度判定，応用地質，Vol21，No.3

2) 緒方健治・松山裕幸・天野浄行（2003）；振動特性を利用した落石危険度の判定，土木学会論文集，No.749/ -61，123-135

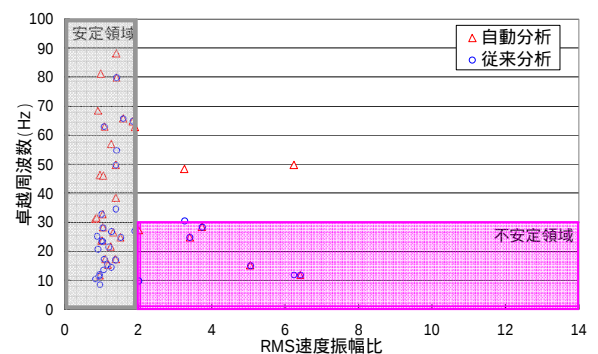


図-6 危険度判定図