

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560474

研究課題名（和文）岩塊の常時微動観測とそれに基づく高精度落石危険度判定法の提案

研究課題名（英文）Microtremor Measurement of Rock Mass and Its Application to Rock-fall Hazard Assessment

## 研究代表者

茂木 秀則 (MOGI HIDENORI)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：80261882

研究成果の概要（和文）：急峻な地形の多い日本では落石危険度の評価が不可欠である。しかし、診断を要する地点が多いことや、現在の診断方法には経験的な判定基準が含まれていることから、より簡便かつ客観的な落石危険度の評価手法の確立が望まれる。本研究では、常時微動観測によって岩塊の振動メカニズムを考察し、岩塊の常時微動の水平／鉛直固有振動数比を用いて岩塊の転倒加速度を算定する新たな手法を提案した。また、この手法を複数の岩塊に適用して転倒加速度を推定し、既往の落石危険度振動調査法による判定結果と互いに整合する結果が得られることを確認した。

研究成果の概要（英文）：Rock-fall hazard assessment is indispensable procedure in maintenance of roads and rail tracks. So, a simple and quantitative evaluation of the hazard is needed. From this point of view, several methods based on vibration measurements have been presented. In this study, we proposed a new method to estimate toppling acceleration of a rock mass based on the horizontal-to-vertical natural frequency ratio of microtremors. We applied the method to rock masses and showed that the estimated toppling accelerations were consistent with results obtained from the method proposed by other authors.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：維持管理工学

## 1. 研究開始当初の背景

2009年7月の富士山落石死亡事故などからも明らかのように、道路や鉄道などの維持管理において落石危険度の診断は必要不可欠である。さらに、診断を要する地点が多いことや経年変化によって危険度が増加する

ため、継続的に診断を行っていく必要がある。しかし、落石の発生予知を定量的に行う手法は未だ確立されておらず、その危険度判定は、地形や地質のほか、地下水や植生の状況などの様々な要素を総合的に判断して行っているのが現状である。簡易でかつ定量的・客観

的な判定方法の確立が必要であろう。

上記のことから、岩塊と基盤岩における常時微動のスペクトル振幅比を用いる方法や累積振幅比を用いる方法、岩塊における常時微動の H/V スペクトル比を用いる方法などが提案されている。これらの方法は落石危険度を判定する岩塊の振動を直接計測するため、ある程度定量的な物理量が得られるが、その一方で岩塊の振動特性そのものについては十分な検討がなされておらず、最終的なアウトプットである落石危険度については「高低」の相対評価にとどまっているのが現状である。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究では落石危険度の定量的な評価法の確立を最終的なゴールとする。

## 3. 研究の方法

次の手順によって落石危険度の算定手法を検討した。

(1) 多くのセンサーを用いた同時観測によって、岩塊の振動特性、ならびに、その効率的な観測方法を検討する。観測に際しては、入力レベルと岩塊のスペクトル振幅の非線形的な関係やロッキング振動の回転中心の位置など、モデル化に必要な情報を正確に得るために、センサーの配置に十分に注意して観測を行う。

(2) ロッキング振動の特徴を取り込んだ数理的な振動モデルを構築し、より実現象に近いコンピュータシミュレーションを実施し、観測記録と比較、検討を行う。

(3) 上記(1) (2)に基づいて、落石危険度を例えば、地震工学分野で用いられる「限界震度」「転倒加速度」のような定量値として算定する方法を提案する。

## 4. 研究成果

### (1) 岩塊の振動の数理モデルの確立

図.1 のように、質量 $m$ 、高さ $H$ 、幅 $W$ 、奥行 $D$ の矩形の岩塊を考える。また地盤の鉛直方向の反力として、単位面積当りバネ係数 $k$ の地盤バネを考える。この岩塊モデルが鉛直方向に一樣に $V$ 変位したとき (図. 1a)、地盤バネは全体で $kDW$ の力を岩塊に及ぼす。従って、鉛直方向の固有振動数 $f_V$ は次式で表される。

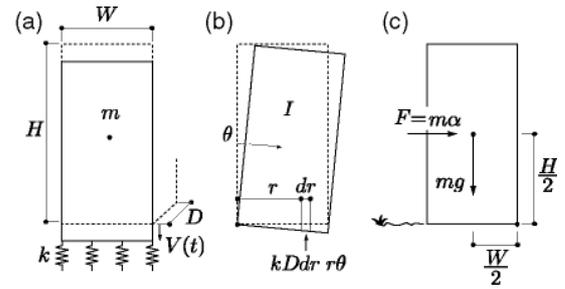


図. 1 岩塊の振動の数理モデル

$$f_V = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kDW}{m}} \quad (1)$$

一方、岩塊の水平方向の振動が地盤の鉛直方向の変形によるものである場合、この振動は図. 1b に示すように、岩塊底面の片端に中心がある回転振動としてモデル化できる。この振動の固有振動数 $f_H$ は次式のように表すことができる。

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kDW^3}{m}} \quad (2)$$

式(1) (2) を用いて未知の地盤バネの係数 $k$ を消去すると

$$\frac{f_V}{f_H} = \frac{1}{W} \sqrt{\frac{3I}{m}} \quad (3)$$

が得られる。ここで $I$ は底面に回転軸がある場合の岩塊の慣性モーメントである。

式(3)から、水平/上下固有振動数比 $f_H/f_V$ は地盤の剛性に依存せずに一定値を示すことが期待される。本研究では、次式に基づいて算定した $W$ を有効幅と称し、 $W_e$ で表す。

$$W_e = \frac{f_H}{f_V} \sqrt{\frac{3I}{m}} \quad (4)$$

(2) 水平/上下固有振動数比 $f_H/f_V$ に基づく岩塊の転倒加速度の算定法の提案

岩塊の不安定さを直接表す指標として本研究では転倒加速度を用いることを提案した。

図. 1c のように岩塊の重心に右向きに地震力 $F$ が働くものとする。岩塊の底面右端を中心とする回転運動が生じる条件から、この岩塊を転倒させる地動加速度 $\alpha$ に関する条件を有効幅 $W_e$ を用いて次式のように与えることができる。

$$\alpha > \frac{W_e}{H} g \quad (5)$$

さらに、縦長の形状を有し倒れやすいと考えられる岩塊に対して $I$ を求めて式(4) (5)に

代入すると、最も簡便な転倒加速度の近似式として次式が得られる。

$$\alpha > \frac{f_H}{f_V} g \quad (6)$$

すなわち、近似的には固有振動数比 $f_H/f_V$ を岩塊の転倒の限界震度とみなすことができる。

### (3) 常時微動測定の例に基づく岩塊の転倒加速度の算定例

図. 2 に常時微動計測を行った岩塊の例(岩塊 A) の写真と計測した寸法を示す。この岩塊では CH1~CH3 を岩塊上に、CH4 を岩塊そばの基盤上に微動計を設置し、岩塊の HS (短辺) 方向, HL (長辺) 方向, V 方向の 3 方向の計測を行った。もう一つの岩塊 (B) においても CH1~CH2 が岩塊上に、CH3 を岩塊そばの基盤上に微動計を設置した他は同様の条件で計測を行っている。

図. 3 に岩塊 A における岩塊上/基盤上のフーリエスペクトル比を示す。HS 方向の結果では、13.2Hz のピークが卓越しており、CH1~CH3 の共通のピークになっている。一方、HL 方向では 41.0Hz に CH1~CH3 の共通のピークが見られ、この振動数がこの岩塊の HL 方向の代表的な振動であると考えられる。また、CH1, CH2 では HS 方向と同様に 13.1Hz にピークが見られるが、これは HS 方向に強

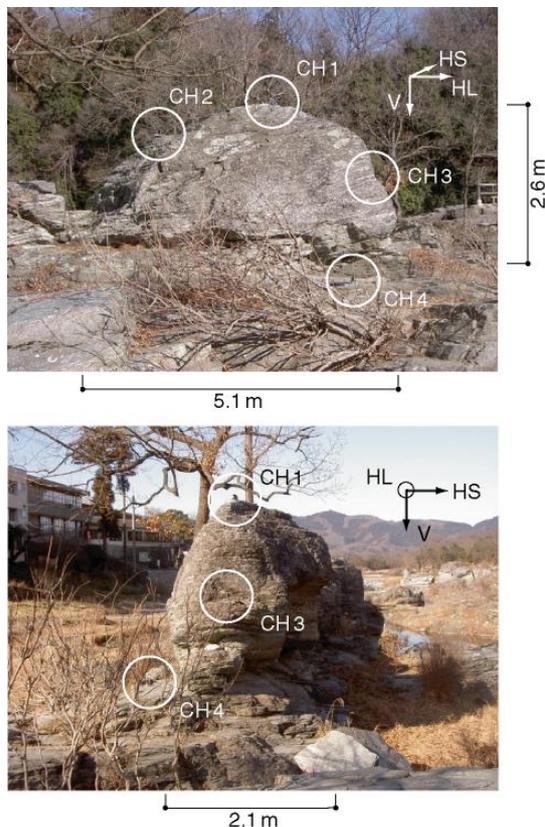


図. 2 常時微動計測状況

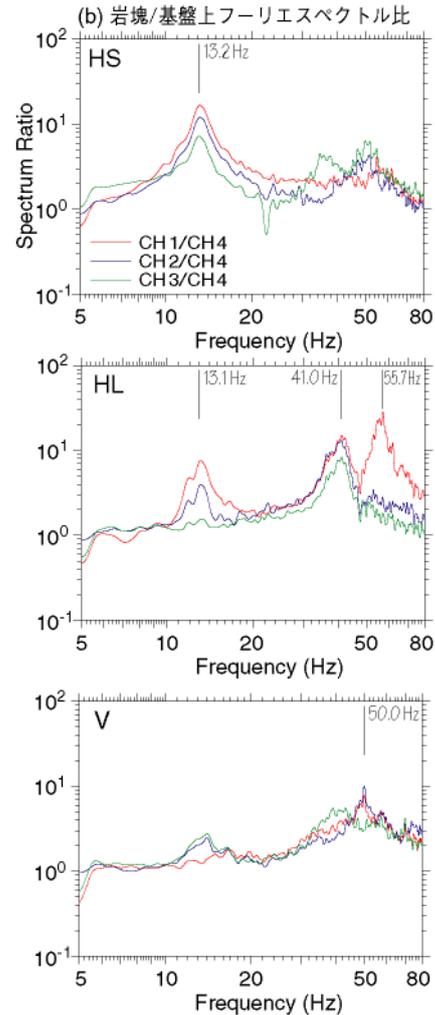


図. 3 岩塊/基盤上スペクトル比の例

く現れた振動が HL 方向のセンサーにも検出されたものと考えられ、不規則な形状を有する岩塊では明確に振動方向を区別することができないことがわかる。同様に、鉛直方向の固有振動数が 50.0Hz であることが図 3 からわかる。このように、岩塊/基盤上のフーリエスペクトル比を用いることで、実際の岩塊の計測において明瞭に固有振動数を求めることができることが確認できた。

### (4) 常時微動測定 of 例に基づく岩塊の転倒加速度の算定例

表. 1 は前節で述べた 2 つの岩塊の固有振動数と水平/鉛直固有振動数比, 有効幅, 転倒加速度をまとめたものである。表にみるように、岩塊 A の HS 方向の有効幅が 0.7m, 転倒加速度  $270 \text{ cm/s}^2$  と他の成分と比べて小さく、岩塊 A はこの方向に比較的不安定であると判断される。一方、ほかの成分については岩塊の幅や長さ比較的近い有効幅と 1G 以上の転倒加速度が求められており、これらの

方向については安定しているものと判断される。また、この結果は既往の落石危険度判定法として用いた日本道路公団試験研究所土工研究室による「落石危険度振動調査法」の評価結果とも整合しており、このことから本研究で展開した手法が定量的な落石危険度の評価手法として用いることができるものと結論づけられた。

表. 1 転倒加速度の算定結果

岩塊	鉛直振動数(Hz)	固有振動数(Hz)	固有振動数比	有効振動幅(m)	転倒加速度(cm <sup>2</sup> )
A	50.0	H	13.2	0.27	0.7
		S			
B	36.1	H	41.0	0.82	2.7
		L			
		H	37.7	1.04	2.2
		S			
H	45.6	1.26	3.1		
L					

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①別役昌孝, 長田昌彦, 茂木秀則, 荒井 進吾: 常時微動観測に基づく岩塊の振動特性と回転半径の推定方法, 第13回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 査読有, 講演番号4, 2013.

②長田昌彦, 高橋学, 竹村貴人: 堆積岩の乾燥変形現象とそれに起因した現象と課題, Journal of MMIJ, 査読有, 127, 3, 2012.

[学会発表] (計3件)

①茂木秀則, Sagar P. M., 長田昌彦: 常時微動計測による岩塊の振動特性の検討, 第9回日本地震工学会年次大会, 2012/11/12, 代々木.

②長田昌彦, 松下智昭, 須永俊之: 屋久島花崗岩中のカルサイト充填割れ目の微視構造から類推されるその充填環境, 日本応用地質学会平成23年度研究発表会講演論文集, pp. 201-202, 2011. 10. 27, 札幌.

③松下智昭, 長田昌彦, 高橋学: 炭酸カルシウムで充填した岩石割れ目の微視的観察; 屋久島の花崗岩と堆積岩を対象として, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム, pp. 410-412, 2011. 1. 13, 四谷.

[その他]

ホームページ等

<http://www.kiban.civil.saitama-u.ac.jp/~hmogi/Papers.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

茂木 秀則 (MOGI HIDENORI)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 80261882

### (2) 研究分担者

長田 昌彦 (OSADA MASAHIKO)

埼玉大学・地圏科学研究センター・准教授

研究者番号: 00214114

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: