

# 常時微動計測による岩塊の振動特性の検討

○茂木秀則<sup>1)</sup>・Sagar Prasad Mulmi<sup>2)</sup>・長田昌彦<sup>3)</sup>

1) 正会員 埼玉大学工学部建設工学科, さいたま市桜区下大久保 255, hmogi-2008f@kiban.civil.saitama-u.ac.jp  
2) 埼玉大学理工学研究科 (研究当時), 3) 埼玉大学地圏科学研究センター

## 1. はじめに

落石の危険度を定量的に評価する手法として, 常時微動や衝撃振動の振動特性を用いる手法が提案されている (例えば 1)-3)。本研究では, 岩塊と地盤上で常時微動を計測し, 岩塊の振動の水平方向と鉛直方向の固有振動数比を用いて岩塊の安定性を評価する方法を検討した。

## 2. 常時微動計測

白浜砂岩供試体 ( $0.3 \times 0.3 \times 0.15 \text{ m}^3$ ) を埼玉大学構内の (a) 柔らかい表土 (植栽わき), (b) 砂地 (幅跳び用砂場), (c) 締まった表土 (陸上競技トラック) の 3 種の地盤上に設置して, 供試体とそのそばの地盤上で常時微動を計測し, 岩塊上で得られる常時微動の特徴を検討した。計測には東京測振製のサーボ式速度計 VSE-15D を用いた。この微動計は  $0.2 \text{ Hz} \sim 70 \text{ Hz}$  の範囲でフラットな特性を有する。測定はサンプリングレート  $500 \text{ Hz}$  とし, 一回の測定で 18 秒間 (9,000 データ/CH), 同一の測定を 3 回行った。

図-1 に常時微動の計測状況 (陸上競技トラック) と微動計の配置を示す。微動計は供試体上の両端に 2 台, また, 供試体近くの地盤上に 1 台設置し, 計 3 台の同時計測を行った。計測方向は, 供試体の短辺方向 (HS) と長辺方向 (HL) の水平 2 方向, ならびに鉛直方向の計 3 方向とし, 3 台の微動計の向きを変えながら測定を行った。

図-2 に得られたフーリエスペクトルと供試体上/地盤上のフーリエスペクトル比を示す。図中, 上から (a) 柔らかい表土上, (b) 砂地上, (c) 締まった表土での結果, また, 左から HS (短辺) 方向, HL (長辺) 方向, V (鉛直) 方向の結果である。各図の細線が 3 回の計測から得られたフーリエスペクトルの平均値 (右軸), 太線が細線で示した平均フーリエスペクトルの供試体上/地盤上の比 (左軸) を表す。図中の数値はスペクトル比から読み取った固有振動数である。

これらの結果を見ると, 地盤の違いによって様々な固有振動数を示すが, HS 方向のスペクトル比が他の 2 方向と比べて明瞭なピークを示す共通点があることがわかる。また, HS 方向の固有振動数は, HL 方向や V 方向と比べて小さい値を示す特徴がある。これは, これらの地盤が供試体の重量に対して相対的に剛性が小さく, 供試体の振動によって地盤変形が生じ, その振動が短辺方向により強く現れるためと考えられる。

## 3. 岩塊の振動モデル

図-3a 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, 単位面積当たりバネ係数  $k$  の地盤バネを考える。

この岩塊モデルが鉛直方向に一様に  $V$  変位したとき (図-3a), 地盤バネは全体で  $kDW$  の力を岩塊に及ぼす。従って, 鉛直方向の振動方程式と固有振動数  $f_V$

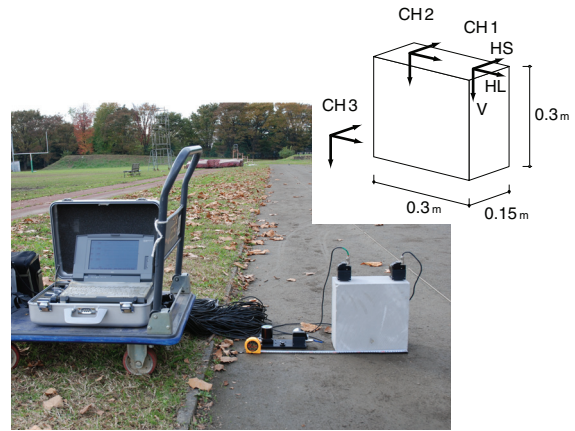


図-1 白浜砂岩供試体を用いた常時微動計測状況 (埼玉大学構内陸上競技トラック) と微動計の配置

はそれぞれ, 次式で表される。

$$m \frac{d^2 V(t)}{dt^2} + kDW V(t) = 0 \quad (1)$$

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

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-3b 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, この振動の方程式と固有振動数  $f_H$  はそれぞれ, 次式で表すことができる。

$$I \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} + T(\theta) = 0, \quad T(\theta) = \frac{kDW^3}{3} \theta \quad (3)$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kDW^3}{3I}} \quad (4)$$

ここで,  $\theta$  は岩塊の回転角,  $T(\theta)$  は岩塊が  $\theta$  回転した場合に地盤バネが岩塊に及ぼすモーメントである。なお, この回転振動は振動の方向によって回転の中心の位置が左右に変化すると考えられるが, 本研究では簡単のため, 岩塊の慣性モーメント  $I$  として, 岩塊底面の中央部分を回転中心とした場合の値を用いた。

式 (2)(4) を用いて地盤バネの係数  $k$  を消去すると,

$$\frac{f_V}{f_H} = \sqrt{\frac{kDW}{m}} / \sqrt{\frac{kDW^3}{3I}} = \frac{1}{W} \sqrt{\frac{3I}{m}} \quad (5)$$

が得られる。このことから, 固有振動数比  $f_H/f_V$  は地盤の剛性に依存せず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。

$$W_e = \frac{f_H}{f_V} \sqrt{\frac{3I}{m}} \quad (6)$$

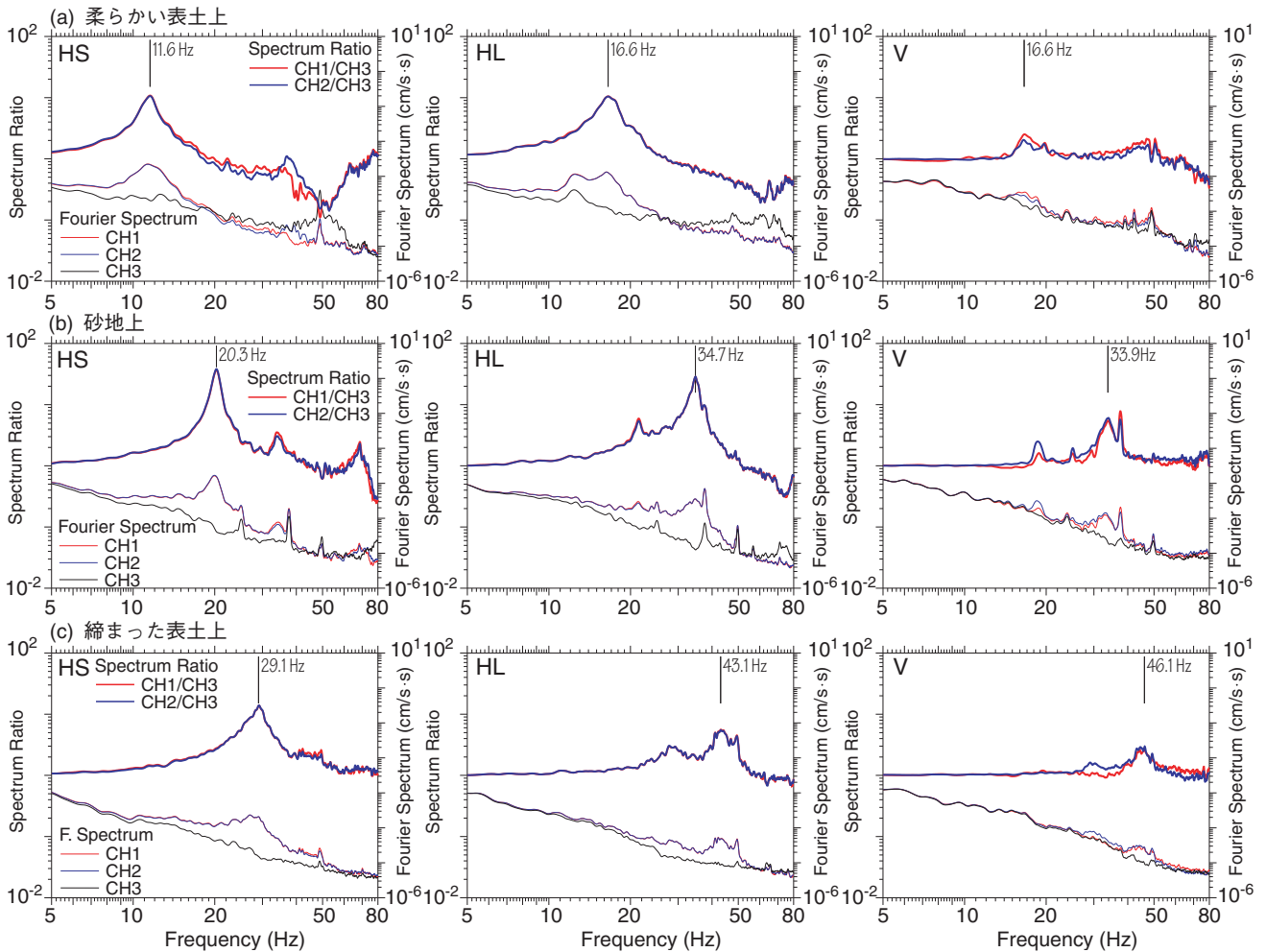


図-2 白浜砂岩供試体を用いた常時微動の計測結果. 図中, 上から, (a) 柔らかい表土上, (b) 砂地上, (c) 締まった表土上, 左から HS (短辺) 方向, HL (長辺) 方向, V (鉛直) 方向の結果を示す. 細線がフーリエスペクトル (右縦軸), 太線が供試体上/地盤上のフーリエスペクトル比 (左縦軸) を表す.

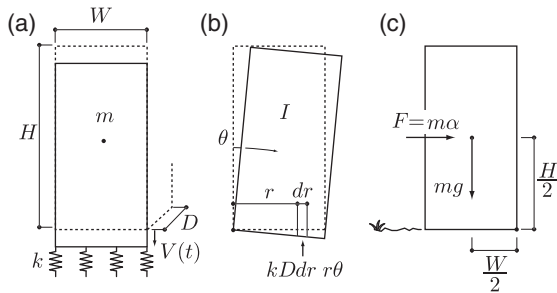


図-3 (a) 鉛直方向の振動と地盤バネによる復元力, (b) 回転振動に伴う水平方向の振動と地盤バネによる復元力, (c) 転倒加速度

表-1 HS, HL, V 方向の固有振動数  $f$  と, HS, HL 方向の固有振動数比  $f_H/f_V$ , 有効幅  $W_e$

地盤	$f$ (Hz)			$f_H/f_V$		$W_e$ (m)	
	HS	HL	V	HS	HL	HS	HL
(a) 柔らかい表土	11.6	16.6	16.6	0.70	1.00	0.22	0.34
(b) 砂地上	20.3	34.7	33.9	0.60	1.02	0.19	0.34
(c) 締まった表土	29.1	43.1	46.1	0.63	0.93	0.20	0.31

表-1 は図-2 に示したスペクトル比から読み取った固有振動数  $f$  と固有振動数比  $f_H/f_V$ , 有効幅  $W_e$  をまとめたものである. なお, 供試体の HS 方向ならびに HL 方向の慣性モーメント  $I/m$  はそれぞれ,  $0.031875 \text{ m}^2$ ,  $0.0375 \text{ m}^2$  である.

表-1 の結果を見ると, 前述のように固有振動数  $f$  は地盤や振動の方向によって様々であるが, 固有振動数比  $f_H/f_V$  は方向ごとにほぼ同じ値を示すことがわかる. また, 式 (6) で求めた有効幅  $W_e$  は実際の幅  $0.15 \text{ m}$  より少し大きいものの比較的近い値を示しており, 岩塊の転倒の可能性を考える上で固有振動数比が有効な指標になるものと考えられる.

#### 4. 岩塊の転倒加速度

図-3c 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として, 次式が得られる.

$$\frac{H}{2}F = \frac{H}{2}m\alpha > \frac{W}{2}mg \quad (7)$$

ここで,  $\alpha$  は地動加速度,  $g$  は重力加速度である. 従って, この岩塊を転倒させる地動加速度  $\alpha$  の条件を有効幅  $W_e$  を用いて次式のように評価することができる.

$$\alpha > \frac{W_e}{H}g \quad (8)$$

文献 1) 奥園誠之, 岩竹喜久磨, 池田和彦, 酒井紀士夫: 振動による落石危険度判定, 応用地質, 21, 3, pp. 9-12, 1980. 2) 日本道路公団試験研究所土工研究室: 落石危険度振動調査法調査マニュアル, 2001. 3) 緒方健治, 松山裕幸, 天野浄行: 振動特性を利用した落石危険度の判定, 土木学会論文集, 749/VI-61, pp. 123-135, 2003.