

自然斜面上における3方向の振動測定による 浮石評価の試み

中村 真^{1*}・徳楠 充宏²・武井 義和²・澤田 義博³

¹株式会社ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

²株式会社ニュージェック 地圏グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

³名古屋大学 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

*E-mail: nakamuramk@newjec.co.jp

浮石（転石を含む）が原因となり発生する落石は災害としての発生頻度も多く、斜面上にその一部が露出している岩盤が、安定か不安定かの判断は重要な問題である。しかしながら、斜面上の浮石の根入れを判断する方法は現状では確立されていない。

そこで、浮石の根入れの有無を簡便に判定する方法として、常時微動計測において地盤の硬軟によって水平鉛直(H/V)スペクトル比の分布特性が異なることに着目して、その適用を試みた。また、トンネル掘削時の発破による斜面上の浮石の影響を検討するため、人工震源を用いた測定も実施し、常時微動計測と同様の測定方向による振動特性の把握と評価手法について検討した。

Key Words : slope, unstable rock, vibration measurement, microtremor, artificial seismic

1. はじめに

近年、斜面上の浮石や転石の崩落事故が各地で発生しており、崩落事故を未然に防ぐために、斜面上にその一部が露出している岩盤が、安定か不安定かの判断手法の確立が求められている。道路上の斜面における従来の浮石や転石の落石危険度判定では、落石対策便覧¹⁾に基づいた評点方式の危険度判定や地質技術者による目視等の定性的な判断が行われてきた。浮石・転石の安定性を決める要因の一つとして岩石の根入れ深さがあり、その判断方法として弾性波反射法の適用が考えられるが、複雑な形状を呈する場合や根入れが深い場合、その反射面を判定するのは困難である。

本研究では、浮石・転石の根入れの有無を判定する方法として、まず常時微動測定を実施して、地盤の硬軟によって分布特性が異なる水平鉛直(H/V)スペクトル比による判定を試みた。さらにトンネル掘削時の発破を模擬した人工震源を用いた測定を実施し、3方向の振動特性の把握と根入れの有無の評価手法について検討した。

2. 調査地点の地質概要

調査地点は、建設中のトンネル坑口部に位置し、坑口

付近の斜面上には根入れの不明瞭な浮石が点在しており、トンネル掘削時の発破による影響が懸念された。調査地は領家帯花崗岩類からなる斜面で、標高300m前後の山地頂部から標高100m付近の近傍河川の河床まで急斜面が形成されている。中でも遷急線にあたる標高200m付近よりも低標高位では40°程度以上の急崖地形が形成されている。坑口付近では地表から深度2m付近までは、強風化しマサ化したゆるんだ層が分布するが、これより深部ではN値50以上の密実なマサとなる。

3. 常時微動のH/Vスペクトル比による検討

(1) 常時微動観測

地面は地震時でなくとも常に小さく揺れており、道路を走る自動車や風に揺れる木々なども振動源になる。このような振動源は地表に数多く存在しており、その振動は高感度の地震計で捉えることができ、常時微動と呼ばれている。常時微動の振動の様子は場所によって異なり、その特性を利用して地震時の地盤の揺れ易さを推定することができる。

常時微動観測は図-1に示す5箇所で行った。なお、図中には後述する人工震動発生に用いたボーリング孔も併記している。観測に用いた地震計は固有振動数2Hz、

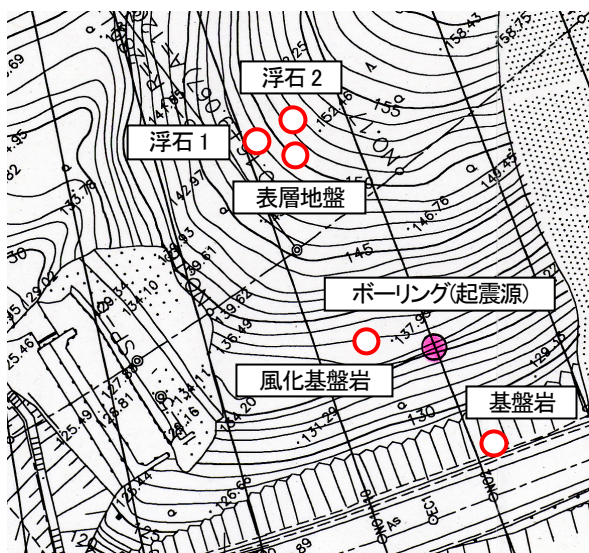


図-1 常時微動観測位置

感度2.0v/kineの高感度3成分速度計（CDJ-S2C-2）で、利得1～10000倍の交流増幅器（SMA-1）、16BitA/Dコンバーターを介してノート型パソコンで収録した。サンプリング周波数は100Hzとし、1ケースあたり90秒間で、各地点で10ケース程度を収録した。

(2) 常時微動のH/Vスペクトル比

常時微動は通常2方向の水平成分(H)と鉛直成分(V)を観測するが、常時微動のH/Vスペクトル比という指標で評価すると、図-2に示すようにH/Vスペクトルの1-10Hz程度(周期0.1-1秒)にピークが認められる場合と、明瞭な周期特性が認められない場合がある。従来の研究から、同図に示すように周期にピークが認められる場合は表層地盤、

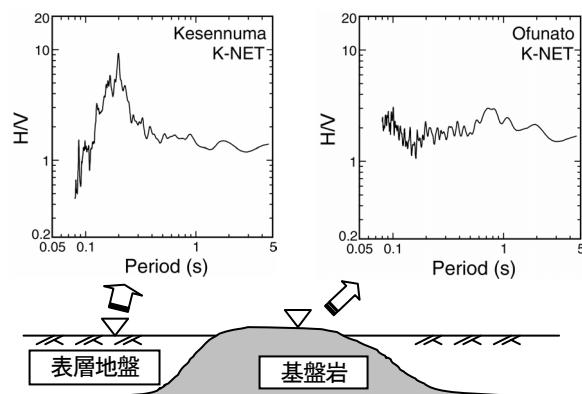


図-2 地盤の違いによるH/Vスペクトル比の例 (図中のH/Vスペクトル比は <http://www.edm.bosai.go.jp/Sanriku2003/Survey0/mtHV/mtHV.html> から引用)

明瞭な周期特性が認められない場合は基盤岩であることが知られている²⁾。

そこで、この特性を利用して根入れの不明な浮石の常時微動を測定し、H/Vスペクトル比を解析することにより、基盤岩との連続性の評価を試みた。

解析方法は、取得した常時微動記録から人為的ノイズを出来るだけ除いた20.48秒間の良好な記録を各地点で10トレース切り出し、FFTによりフーリエスペクトルを求め、以下の式によりH/Vスペクトル比を計算した³⁾。

$$H/V = \sqrt{NS \times EW} / UD$$

但し、NS、EW：水平成分、UD：上下成分

(3) H/Vスペクトル比の解析結果

H/Vスペクトル比の解析結果を、図-3に示す。なお、

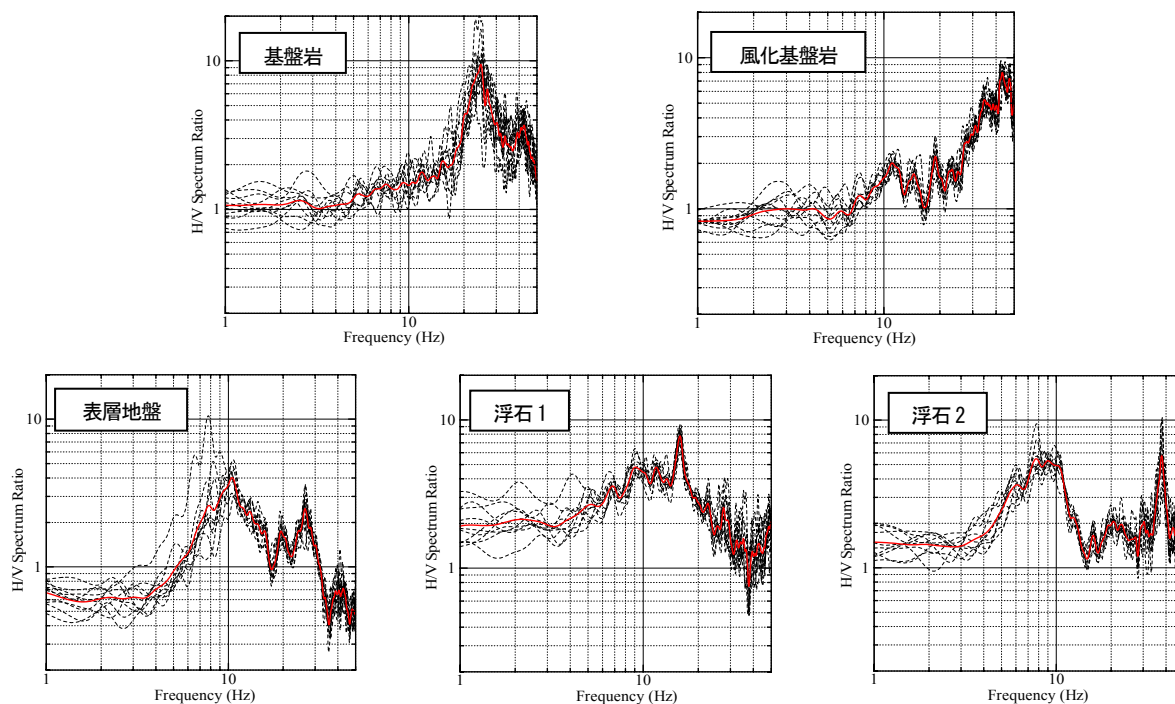


図-3 常時微動による H/V スペクトル比解析結果

図中の実線は平均値を示す。道路脇の基盤岩のH/Vスペクトル比は25Hz付近で顕著なピークが見られるものの、顕著な周波数特性を示さず、後述の10Hz付近にピークは見られない。本地点では、自動車等の交通が激しく、25Hzのピークはその影響の可能性がある。さらに、斜面下部の風化基盤岩では、50Hz近くにピークが見られるが、全体として道路脇の基盤岩のスペクトル比の形状と近似している。

表層地盤の微動H/Vスペクトル比は10Hz付近に顕著なピークが出現する。浮石1、浮石2でも、10Hz付近にピークが認められる。

以上から、当該斜面の風化マサ土の卓越周波数は10Hz付近にあり、スペクトル比形状が基盤岩とは大きく異なること、各浮石では振幅に差異はあるものの、概ね表層地盤に近似したスペクトル比形を示すことがわかる。

ピーク振幅の差異は、恐らく浮石の根入れに関連していると思われ、浮石2は浮石1に比べよりシャープなピークを示す（5Hz付近から急増する表層地盤のスペクトル比により近似する）ことから、相対的に不安定と考えられる。

4. 人工震源の振動特性による検討

(1) 人工震源による波形観測

人工震源による観測は、前述の図-1の常時微動観測と同一の地点で実施した。震源には、トンネル天端予定位置付近まで約12m掘削したボーリング孔の孔底にボーリングロッドを密着させ、標準貫入試験の手順と同様に、重さ63.5kgの重錘を75cm落下させて孔底で震動を発生させた。図-4に人工震源による測定概念を示す。

観測に用いた地震計は、通常の弾性波探査に用いる速度計（GS-11D）を用いたが、常時微動観測時の当該斜面の風化マサ土の卓越周波数10Hz付近の波形を取得できるように、固有振動数4.5Hz、感度0.32v/kineのタイプを選定した。測定では、上記の地震計を金属製のL字治具等を用いて各点において3方向設置した。サンプリング周波数は2,000Hzとし、波形取得時間は約1秒間である。

(2) 人工震源の卓越周波数特性

人工震源によって得られた波形から、FFTによりフーリエスペクトルを求めた結果を図-5に示す。ここでは紙面の都合上、基盤岩と浮石1および2のみ示す。人工震源においても、常時微動計測と同様に水平2方向と鉛直方向の測定を実施したが、これらの結果より水平2方向に対して鉛直方向の波が非常に大きいことがわかる。また、常時微動は数十Hzまでの低周波の波で構成されているのに対して、人工震源による波は100Hz以上のものも含まれている。また、図に示す2地点の鉛直成分の比較では、基盤岩のフーリエスペクトルのピークが50Hz付近にあるのに対して、浮石1および2では20～30Hz付近と若干低い。このことより、基盤岩と比較して浮石といった不安定な地盤では卓越周波数が低くなることが予想される。

(3) 基盤岩に対する周波数特性の差異の検討

卓越周波数の比較より、基盤岩と浮石の周波数特性が異なることに着目して、フーリエスペクトルが大きい鉛直方向の周波数特性を用いて、各測定地点の基盤岩に対する各周波数帯におけるフーリエスペクトルの比を比較した。

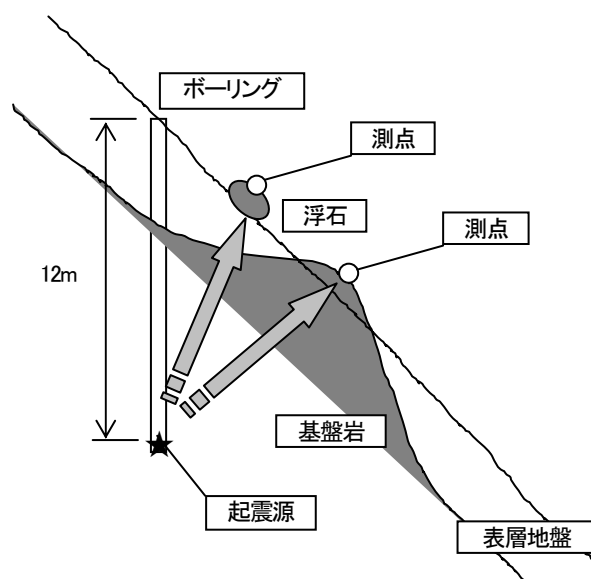


図-4 人工震源による測定概念

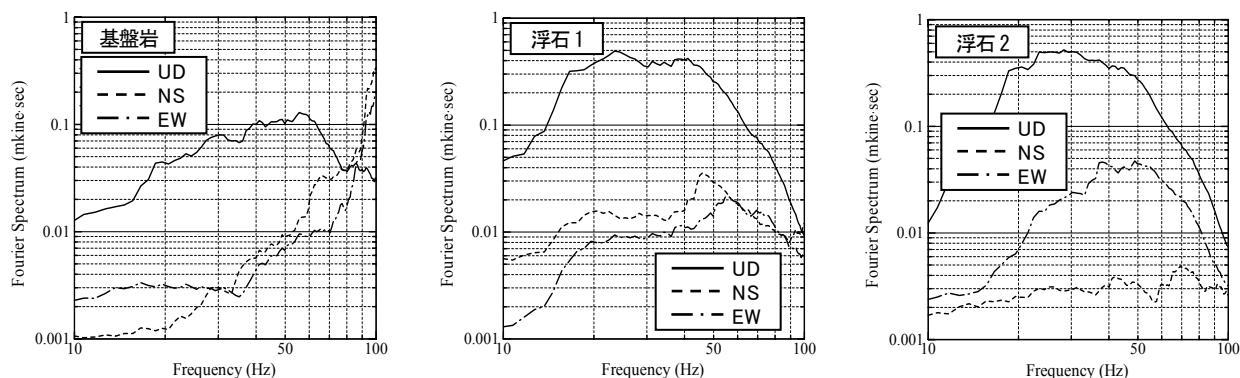


図-5 人工震源による3方向のスペクトル解析結果

比較に際しては、起震源と測点との距離の補正をして用いた。比較結果を図-6に示す。同図より風化基盤岩と表層地盤は十数Hzから100Hzまで基盤岩の10倍程度で一定しているのに対して、浮石1および2では40Hz付近から急激に減少しているのが認められる。このように、浮石では基盤岩に対して周波数の高い波が伝わりにくいことがわかり、この特性を用いて浮石の評価ができると考えられる。しかしながら、浮石1および2の不安定さの差異まで判断することまでは困難であった。

5. おわりに

本論文では、まず浮石上で常時微動を計測し、H/Vスペクトル比による評価から根入れの有無の判定を試みた。その結果、浮石1および浮石2が表層地盤と近似したスペクトル比形状を呈しており、不安定であると推定した。さらに、ピーク振幅の差異より、浮石2は浮石1に比べシャープなピークを示し、相対的に不安定と予想した。また、表面は風化が進行していても基盤岩と連続していれば、新鮮な基盤岩と類似した微動H/Vスペクトル比の形状を呈することがわかった。

一方、目視による浮石の安定状態の評価では、浮石1の地上露出部分が90～70%、浮石2の地上露出部分が50～30%であることから、浮石1の方が不安定と評価していた。このように、露出部分の大小から評価した結果とは異なる場合があることがわかったが、その是非についてはまだ適用事例が少なく結論まで言及できなかった。

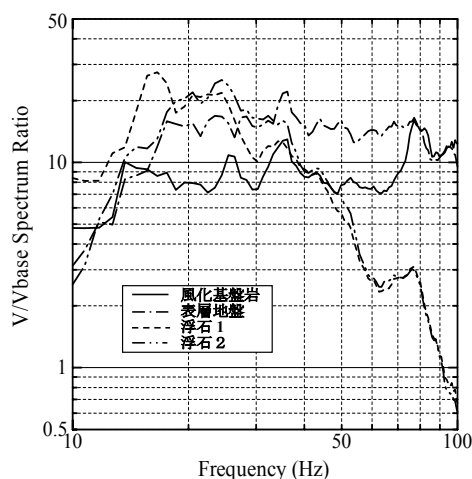


図-6 基盤岩に対する鉛直方向のスペクトル比の比較

また、人工震源による振動特性評価では、基盤岩に対して浮石では高周波の成分が伝播し難いとの知見を得た。しかしながら、まだ適用事例が少ないため、今後も本手法による評価事例を蓄積して、本評価法の確立を目指したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2000.
- 2) 丸山喜久，山崎文雄，木村均，浜田達也：常時微動のH/V スペクトル比を用いた地震動推定法の提案，土木学会論文集，No.675/I-55，pp.261-272，2001.
- 3) 中村豊：常時微動に基づく地震動特性の推定，鉄道総研報告書，Vol.2，pp.18-27，1988.

A STUDY ON UNSTABLE ROCK EVALUATION BY THE VIBRATION MEASUREMENT OF 3 DIRECTION IN NATURAL SLOPE

Makoto NAKAMURA, Mithuhiro TOKUSU, Yoshikazu TAKEI and Yoshihiro SAWADA

There are many frequency on the rock fall which arises by unstable rock in natural slope. So, it is important to judge the sutability of rock mass exposed the part on the slope. However, the judgment method has not been established.

Then, in this study, using the horizontal-to-vertical (H/V) spectrum ratios of microtremor and artificial seismic records, grasp of the vibration characteristic and decision technique of the stability were examined by each measurements.