

常時微動データの利用に関する基礎的研究

環境防災研究室 稲田悠凜孝
指導教員 宮木康幸

1. 研究概要

我が国においては過去に幾度となく地震被害に見舞われてきた。地震動に起因した被害が多発したため、地震観測の重要性が認識され、地震観測地点が増えてきたが、その数はまだ十分ではなく重要な地点での観測記録が取れていない場合が多い。

地震被害低減のための地盤振動特性の把握には物理探査を用いて地盤構造を把握する必要があるが、その一つに常時微動観測があり、コストや簡便性において優れている¹⁾。

常時微動の水平方向スペクトルと鉛直方向スペクトルの比 (H/V スペクトル) を算定することにより地盤構造・特性を評価する研究が行われてきた²⁾。この地盤特性を表す常時微動の H/V スペクトルを利用することにより、他の地点で観測された地震動を変換して未観測地点の地震動を推定できれば、極めて有用である。

そこで、本研究では、未観測地点の地震動を常時微動から推定する手法の確立を目指して、2地点での常時微動記録（以下常時微動を微動とする）と同地点での地震記録を用いてその推定法の妥当性を検証することを目的とした。なお、この推定方法は以下のような前提で行うことにした。地盤を線形弾性体と考え、その非線形性は考慮しない。また、地震動の補正には H/V スペクトルを用いた補正を行い、それ以外の補正は行わず、地点の違いによる位相の違いによる補正も行わない。

2. 微動と地震動データについて

2.1 使用する微動データについて

微動記録は K-NET 長岡, KiK-net 長岡 (K-NET 長岡支所), K-NET 小出, KiK-net 湯谷, KiK-net 川西, K-NET 十日町の計 6 か所にて測定を行ったものを用いる。なるべく純粋な微動を抽出するため、記録波形にある車両の走行などの影響によるノイズをなるべく除去し、使用した。

2.2 H/V スペクトルの処理方法

H/V スペクトルの処理は中村の提案した方法³⁾を参考に行った。その手順を次に示す。なお、微動のオーバーラップは測定記録から得られた微動波形の数が十分なことに加え、オーバーラップさせてしまうと純粋な微動として評価できないので今回は行わないこととした。また、今回用いた微動計は 0.5~18Hz の測定範囲であるので、H/V スペクトルの評価も同じ範囲で行う。H/V スペクトルの式を(2-1) に示す。

- 1) 抽出した波形データを各データごとにフーリエスペクトルを算出
- 2) 各フーリエスペクトルの加算平均を行う
- 3) バンド幅 0.2Hz の parzen window によりスペクトルの平滑化を行う
- 4) H/V スペクトルの算出を行う

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{f_{Ns}^2 + f_{EW}^2}}{f_{UD}} \quad (2-1)$$

2.3 対象とする地震記録⁴⁾

対象となる地震動は微動測定場所と同じ、K-NET 長岡, KiK-net 長岡, K-NET 小出, KiK-net 湯谷, KiK-net 川西, K-NET 十日町の強震, 弱震 (最大加速度 5gal 未満) の記録を用いた。地震の最大加速度は中越地震等の大規模地震の本震クラスの 1000gal を超えるものから 20gal 程度の強震などそれぞれの場所で 7~8 種類ほど、弱震はそれぞれの場所で 3 種類、最大加速度の違うものについて使用した。なお、K-NET 十日町については 2012 年 5 月 18 日に移設されているため、それにより移設以前と後で微動との差が出ている可能性がある。

地震データの名称の最初の 6 桁 (NIG017 や NIGH01 など) はその地点の強震計の名称を表したものであり、その後の 2 桁は西暦の下 2 桁、その後の 4 桁は月日、その後の 4 桁は時分を表している。例えば NIGH010410231756 であれば最初の 6 桁の NIGH01 は KiK-net 長岡, 04 は 2004 年, 1023 は 10 月 23 日, 1756 は 17 時 56 分の意味になる。

地震動は、主にその時刻歴波形のうちの S 波成分が卓越する部分を読み取り、その時刻歴波形を抜きだしたものを使用した。

3. 地震動の推定方法とその結果

本研究では、地盤を線形弾性体と考えているので、断層においてどのような破壊が起こったかという震源特性、生じた地震波動がどのように伝わったかという伝搬経路特性、対象地点近傍の地盤構造によって地震波動がどのような影響を受けたかというサイト特性から、地震動を求めることができ、振動数領域で次のように表せる。

$$A(f) = S(f) \times P(f) \times G(f) \quad (3-1)$$

本研究では 2 地点での微動記録と同地点での地震記録を用いて、未観測地点の地震動を微動から推定する手法の確立を目指すので、2 地点(a,b とする)の違いにより式(3-1)は次のようになる。

$$\begin{aligned} A_a(f) &= S_a(f) \times P_a(f) \times G_a(f) \\ A_b(f) &= S_b(f) \times P_b(f) \times G_b(f) \end{aligned}$$

近傍にある 2 地点の強震計設置場所を対象としているのでそれぞれの震源特性 $S(f)$ と伝搬経路特性 $P(f)$ は同じと考えることができる。

$$\begin{aligned} S_a(f) &= S_b(f) \\ P_a(f) &= P_b(f) \end{aligned}$$

よって a 地点と b 地点の地震動を求める際の差は、それぞれのサイト特性 $G_a(f)$ と $G_b(f)$ の違いが原因となる。仮にサイト特性 $G_a(f)$ と $G_b(f)$ がわかっているのならば a 地点の地震動は次のようになる。

$$A_a(f) = A_b(f) \times \frac{G_a(f)}{G_b(f)} \quad (3-2)$$

このように a 地点と b 地点の深部地盤特性 ($S(f)$ と $P(f)$) が同じならば、 $G_a(f)$ と $G_b(f)$ の違いが表層地盤特性の違い = 表層地盤の増幅特性の違いになる。a, b 地点での微動を用いて、H/V スペクトルを算出する。H/V スペクトルは、その地点の地盤構造・特性を表していると考えられるため $G_a(f)/G_b(f)$ を 2 地点の微動の H/V スペクトル比で代用できるのではないかと考える。

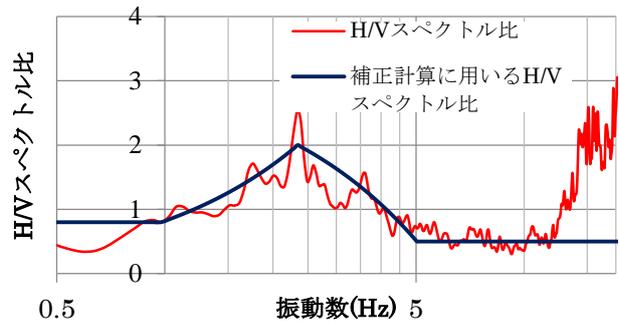


図 3-1 補正計算に用いる H/V スペクトル比

代用可能かどうかの検討は強震計が設置されている地震記録が既知な地点において微動を測定し、仮に a 地点の地震動を求めるとすると、以下の式のように H/V スペクトル比を算出し、その類似性を比較検討することにより行う。

$$\frac{HV_a^m(f)}{HV_b^m(f)}, \frac{HV_a^e(f)}{HV_b^e(f)}$$

HV_a^m, HV_b^m は微動から求めた a, b 地点の H/V スペクトルで、 HV_a^e, HV_b^e は地震動から求めた H/V スペクトルである。類似性がなければ、伝搬経路特性と震源特性に違いが生じていることになるので、式(3-2)を用いた地震動の推定はできなくなる。類似性が出ているならば微動の H/V スペクトル比でサイト特性を代用できる

$$\frac{G_a(f)}{G_b(f)} = \frac{HV_a^m(f)}{HV_b^m(f)}$$

地震動の推定は、微動と地震動の 1Hz から 5Hz 間の H/V スペクトル比に類似性がみられたものに対し行う。例えば、b 地点を地震動の既知点として、その地震動の実測値をフーリエ変換したものに、a, b 地点で測定した微動記録より H/V スペクトル比を求め、それを乗じたものを逆フーリエ変換し、b 地点での地震動記録から未知とした a 地点の地震動を推定した。こうして、推定した a 地点の地震動波形と a 地点の強震計の実測値地震動波形、また、地震動波形をフーリエ変換しフーリエスペクトルにしたものを比較検討した。この検討は K-NET 長岡と KiK-net 長岡、K-NET 小出と KiK-net 湯之谷、KiK-net 川西と K-NET 十日町の 3 地点間で行った。各地点間の距離は長岡地域で約 4.2km、小出地域で約 2.1km、十日町地域で約 4.4km である。

今回はスペクトルで比較し、着目する振動数領域は、木造や中低層の建造物の固有周期の 0.2

秒から 1 秒と一般的に言われていることから、1Hz から 5Hz とする⁵⁾。また、本研究においては簡便のため、1Hz から 5Hz の領域に着目しているため、それ以外の振動数領域の値を一定とし、約 1Hz から約 5Hz までは簡単な曲線(図 3-1 の場合は最大値までは $0.878f + 0.8$ 、5Hz までは $-0.559f + 2$ 、 f に乗ずる係数は少数第 3 位まで表示。また、 f は周波数である。)で表した。図 3-1 にそれを示す。図 3-2 と図 3-3 に H/V スペクトル比の比較検討したものを図 3-4 と図 3-5 にはスペクトルと地震動波形の比較検討をしたものの図を示す。なお、今回の要旨については図 3-1 から図 3-5 まで小出地域については、図 3-4 と図 3-5 はその東西方向の振動について抜粋して示す。

図 3-3 では図 3-2 よりも 1Hz から 5Hz の間で微動と地震動の H/V スペクトルの差が開く領域が拡大していることがわかる。図 3-2 で類似性が見られたことにより、図 3-4 と図 3-5 では同じ地震について地震動の推定値と実測値のスペクトルと地震動波形を示している。スペクトルは 1.5Hz 以降でおおむね似た傾向にあるが、波形については実測値よりもやや大きく出ている。

4. 結論と今後の課題

2 地点間の微動と地震動の H/V スペクトル比では、最大加速度が比較的小さい地震動で類似性が見られるケースが多かった。地震動の推定については、スペクトルの傾向は異なる領域がやや存在しても、地震動波形は加速度が推定値の方が大きめにすることが多い事が確認された。

今後の課題は、今回得られた結果が他の地域において同様の結果が得られるのかということと、地震動の補正で地盤の非線形性や、距離による影響を考慮した距離補正を行い、さらに精度を高める必要がある。

参考文献

- 1) 萩原由訓, 野畑有秀: 単点常時微動観測を用いた基盤深さ推定に関する研究, 大林組技術研究所報 No.79 2015
- 2) 中村豊: H/V スペクトル比の基本構造, 物理探査学会地震防災シンポジウム 2008/1/25
- 3) 中村郁也: 常時微動データの処理方法に関する研究 2016 年度長岡技術科学大学課題研究論文 2017 年 2 月

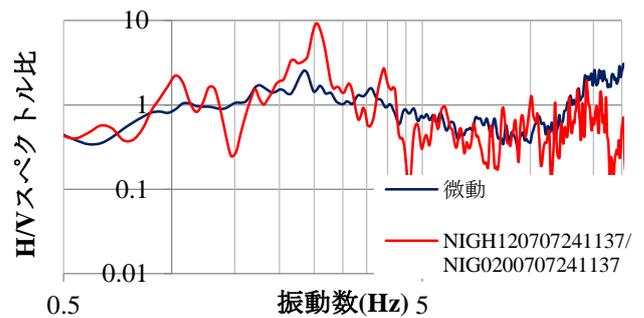


図 3-2 5gal 未満(比の比較)

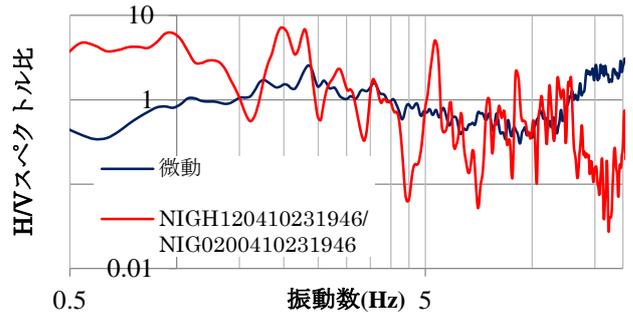


図 3-3 中越地震余震(比の比較)

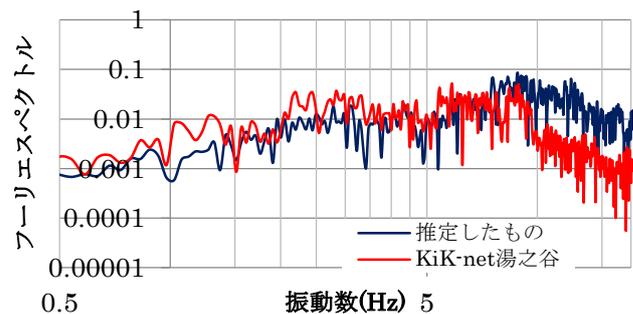


図 3-4 5gal 未満(スペクトルについての比較)

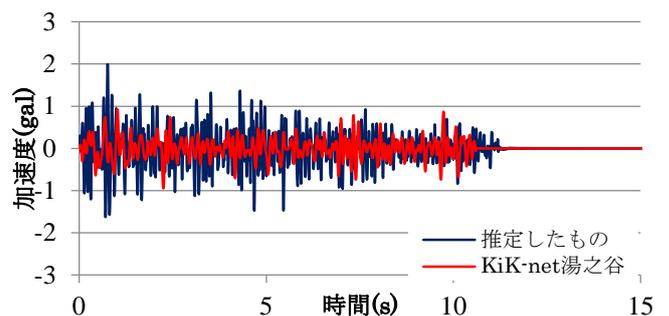


図 3-5 5gal 未満(地震動波形についての比較)

- 4) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net): <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 5) 教えて!耐震ラボ: http://www.atk-eng.jp/blog_seismic/archives/223