

京都大学吉田地区における関西地震観測研究協議会強震観測点の相対サイト特性

加藤 護*・茂泉 優**・岩田知孝

* 京都大学大学院人間・環境学研究科
** 京都大学総合人間学部

要 旨

関西地震観測協議会の京都大学内 2 観測点における相対的なサイト特性を求めた。両観測点で共通に観測された 70 個の地震の波形記録を用いてスペクトルを求めその比を相対的なサイト特性とみなした。KYU 観測点（工学部）に比べ、IHS 観測点（総合人間学部）では高周波成分の減衰が顕著であることが確認された。両観測点における微動観測を行った結果と比較すると、この差異は地盤に起因するものではなく、観測点が置かれた建物の影響（入力損失）によるものと考えられる。

キーワード：強震動，サイト特性，関西地震観測研究協議会

1. はじめに

大学は昼間人口が多く建物密度が高いことなどから、都市型の地震災害に対して脆弱な環境と考えられる。京都大学本部キャンパスのある左京区吉田は木造住宅密集地でもあることから、この地域総体の地震災害の危険度は高いと考えられる。また、この地域は京都盆地の東端に位置し、吉田山や花折断層など地形や地下構造の複雑さが知られている。このような地域において強震動特性を知ることは都市域における地震災害の軽減を考える上でも重要である。

関西地震観測研究協議会（CEORKA）では京都大学吉田地区に 2 つの強震観測点を設置している。このうち KYU 観測点は工学部土木総合館北側の小屋内にセンサーを設置しており、1995 年 4 月から観測が行われていたが、工学部の桂キャンパス移転とこれに伴う吉田キャンパス整備に伴い、2009 年 8 月で観測を終了した。IHS 観測点は吉田南 2 号館地下において 2001 年 2 月に観測が開始された。センサーはどちらも速度型強震計である。京都市内は有感地震の頻度が低く、地域の強震動特性を知るために長期間の地震観測を行い記録を収集することが必要となる。京都大学吉田地区における強震動を知る上でも KYU 観測点の過去の観測記録と IHS 観測点の今後の観測記録を合わせて活用することが重要である。強震波形記

録はサイト特性の影響を強く受けることが知られている。KYU 観測点のサイト特性は鶴来ら(2002)において、岩盤サイトを基準としたものが求められている一方、IHS 観測点については既往の研究例はない。

これらを踏まえ、本研究では CEORKA の KYU 観測点と IHS 観測点の観測波形記録を比較検討し、S 波について 2 観測点間の相対的なサイト特性（相対サイト特性）を求めることを試みた。また、観測点周辺における臨時微動観測を行い、得られた相対サイト特性の解釈を行った。

2. データと手法

本研究では解析対象区間として KYU と IHS の両観測点で並行に観測が行われている 2001 年 4 月から 2006 年 12 月を選んだ。この期間に 2 観測点を共通にトリガーした地震は 180 個である。この中から遠地地震ではないもの、P 波や S 波の着信時刻の読み取り精度が十分担保されるものを基準に目視で波形記録を選別し、十分な SN 比を持つと考えられる記録 70 組を選んだ。Fig.1 に用いた地震の震央分布を示す。

Fig.2 は 2 観測点での波形記録の例である。設置されている速度型強震計は 0.015-30Hz の帯域においてフラットな周波数特性を持っているため、感度だけの補正から速度波形を求めている。特徴として、IHS

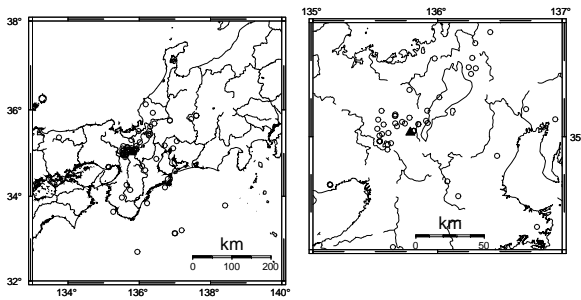


Fig. 1 Epicentral distribution of earthquakes used in this study.

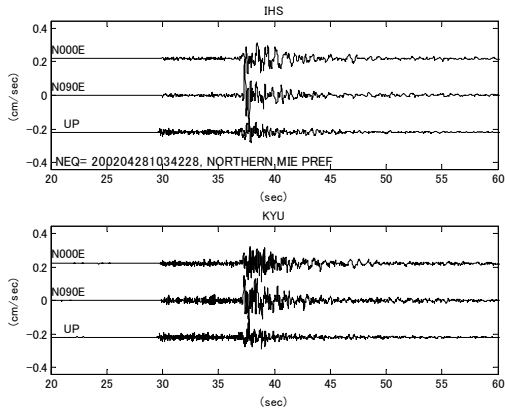


Fig. 2 Example of waveforms used in this study. Top and bottom waveforms are 3 component seismograms at IHS and KYU, respectively.

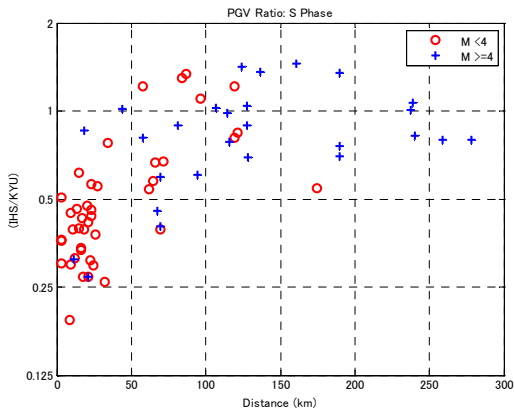


Fig. 3 Ratio of peak ground velocity (PGV) at stations IHS and KYU.

の記録に比べKYUの記録は短周期成分に富んでいることが確認される。また、直達S波の振幅もIHSに比べKYUが大きい。波形の傾向をさらに見るために、70組の波形記録についてS波の最大振幅 (PGV) を求めた。PGVは各観測点におけるS波着信から10秒間の水平動波形2成分のベクトル和の最大値として評価した。PGVの比を震央距離の関数としてみると、震

源距離が70kmより近い地震に対して、IHS/KYUの振幅比が1より小さくなっていることがわかる (Fig.3)。2つの観測点間距離は0.6km程度であるので、この差はサイト特性によるものと考えられる。

次に、観測波形記録のスペクトル比をとって、周波数領域において2観測点の相対的サイト特性を検討した。強震記録の観測スペクトルは震源特性、伝播特性、サイト特性の積で表現される (たとえば、岩田・入倉, 1986)。KYUとIHSは観測点が近接しているため、放射特性を含む震源特性、伝播特性は同一と近似できる。そこで2観測点の波形記録から個々にスペクトルを求め、その比をとると、サイト特性の比、つまり、相対サイト特性とみなすことができる。

スペクトルの推定にはS波到着時から10秒間の波形を用い、両側10%のサイン型テーパーを適用した。スペクトルは各周波数 f に対しその上下 $\pm 10\%$ の計算値を単純相加平均して平滑化した。水平動のスペクトル解析は水平動2成分をベクトル合成した値を用いた。また、P波到着前の10秒間の区間の各成分のスペクトルを求め、SN比評価の参考となるバックグラウンドノイズのスペクトルを推定した。Fig.4にこのように推定されたスペクトルの一例を示す。スペクトル比を求めるにあたってはKYUを分母とした。これは鶴来ら(2002)の既往研究によって岩盤サイトに対するKYUのサイト特性の評価がなされているためである。

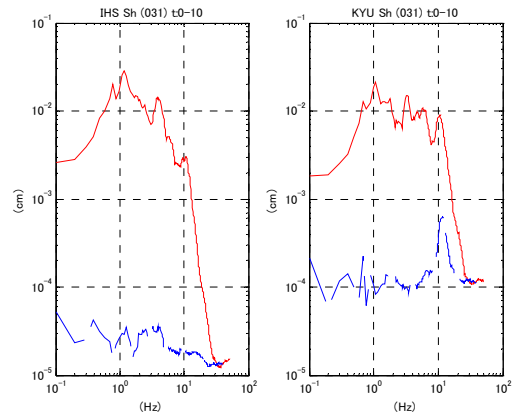


Fig. 4 Comparison of the S-wave velocity amplitude spectra (red) and noise spectra (blue) at IHS (left) and KYU (right).

3. 解析結果

70組すべての直達S波水平動のスペクトル比を平均したものをFig.5に示す。点線は対数正規分布を仮定

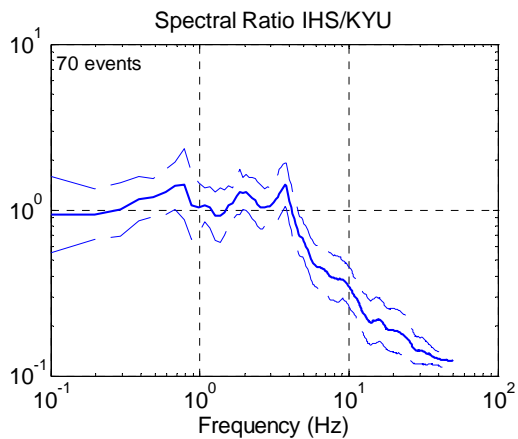


Fig.5 Average spectral ratio between IHS and KYU for all 70 waveform pairs. Dashed lines are 1σ ranges.

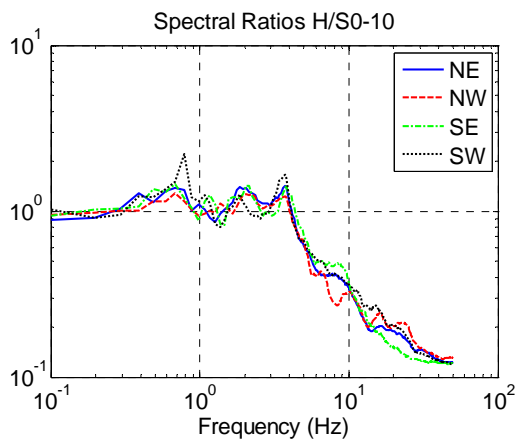


Fig. 6 Dependence of spectral ratios on back azimuth from the stations.

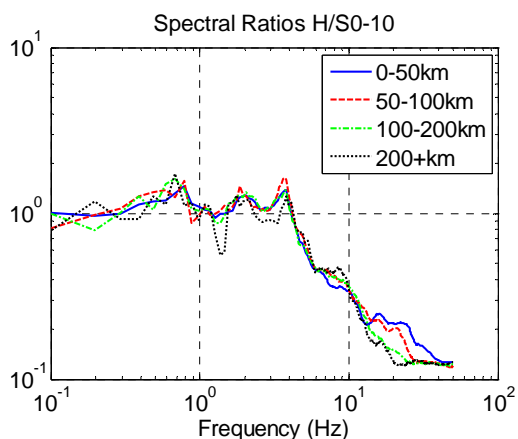


Fig.7 Difference of spectral ratios on epicentral distances.

して求めた標準偏差 $\pm 1\sigma$ の範囲を示す。求められたスペクトル比は4Hzを境に異なった挙動を示す。低周波数側ではスペクトル比はほぼ1倍程度であるのに

対し、高周波側で比が1より顕著に小さくなる。また、周波数が高くなるほどスペクトル比が小さくなる傾向が見られる。低周波数側では3つのやや明瞭なピークが0.8Hz付近、2.5Hz付近、4Hz付近に確認できる。これらの傾向は解析区間を解析時間の長さをS波着信から5秒間にした場合でも同じように確認された。

2観測点間相対サイト特性は震源の方位に大きく依存しない。Fig.6はKYU観測点における入射方向に4象限に区切り、それぞれ象限から入射する地震についてスペクトル比の平均を求めたものである。地震数は北西、北東、南東、南西がそれぞれ27、15、12、16個である。スペクトル比はすべての区分で同じような傾向が見られる。3つのピークのうち、もっとも高周波数側の高さは入射方向が南側のものが北側のものより若干高くなるが、データのばらつきを考慮すると4つの区分で大きな差は見られない。

また、相対サイト特性は震源距離に大きく依存しない。Fig.7はKYU観測点からの震央距離で4分類して、それぞれのグループでのスペクトル比を示した図である。地震数は50km以内、50~100km、100~200km、200km以上が33、15、16、6個である。震央距離が長いグループで1.5Hz程度に比の小さな部分があるが、これは観測数が少ないためのばらつきであると考えられる。

相対サイト特性についてはFig.7のような特徴があることが分かったが、これからFig.3の最大速度振幅比の特徴は次のように解釈することができる。一般に震央距離が遠い地震記録は近い地震記録よりも高周波数が減衰している。また我々が使用しているCEORKA観測点ではトリガー観測をしているので、震源距離が大きい地震は地震規模が大きくなる傾向にあり、それから震央距離が大きいものほど卓越周波数は低くなっている。IHSとKYUのサイト特性の違いは高周波数帯にあるが、震央距離が小さい地震記録においては、最大速度振幅値は高周波数成分の波で決まっているために、IHSの最大振幅値が小さくなり、Fig.3で示されたような振幅比の震央距離依存性が出ている。

本稿ではとりあげないが、直達S波鉛直動、直達P波鉛直動、直達P波水平動についても、低周波数側と高周波数側で挙動が異なる、という特徴は確認できた。スペクトル比の形状もおおむねFig.5と調和的な結果が得られた。

4. 微動観測

両観測点間のスペクトル比の差異の原因を探るために、観測点および周辺において微動探査を行った。

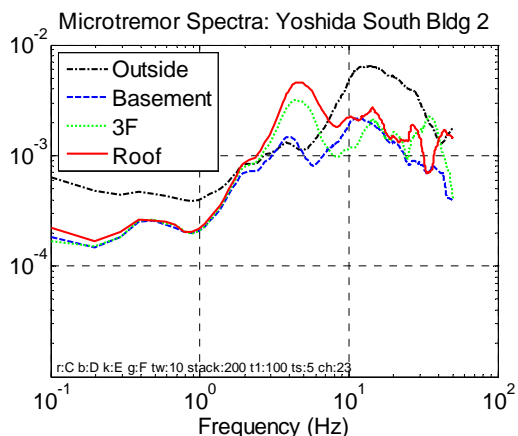


Fig.8 Microtremor spectra at and in the vicinity of Yoshida-South Building 2 which houses station IHS.

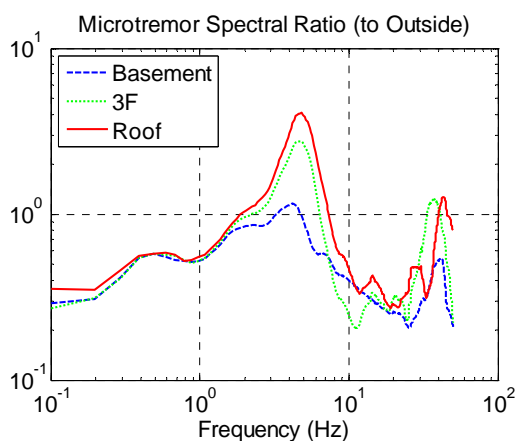


Fig.9 Microtremor spectral ratios between sites at and in the vicinity of Yoshida-South Building 2 to the outside site.

KYS観測点周辺における観測では、観測点が設置されている建物の内外や周辺で微動スペクトルに特徴的な差異は見られなかったため、ここではその結果を割愛する。

IHS観測点周辺の微動観測は吉田南2号館（鉄筋RC造、地上4階地下1階）の地下スペース（IHS観測点と同一サイト）、同3階、同屋上、および、2号館南側中庭で2008年1月20日の夜間に行った。気象状況は曇天、微風であった。

観測された波形から、周囲の交通に起因すると思われる振幅の大きな部分を除いた後、10秒間の区間に区切ってスペクトルを求めた。スペクトルの評価には水平動2成分のベクトル和を用い、また、各周波数fに対しその周囲±10%の計算値を相加平均して平滑化を行った。ウィンドウは5秒間ずつ移動させ

ながら、計200個のスペクトルを求め、その平均を微動スペクトルとした。得られた各地点の微動スペクトルをFig.7に、建物外（2号館南側中庭）の記録に対するスペクトル比をFig.8に示す。

建物内で観測された微動スペクトルは5Hzにピークを持つ。これはスペクトル比ではより顕著に見られる。上層階になるほど、相対的にピークが高いスペクトル比となっている。この観測結果から、吉田南2号館は約5Hzを固有周期にもつ構造であることが推定される。また、この5Hzは観測記録のスペクトル比の振る舞いが変わる周波数に相当する。

IHS観測点は吉田南2号館地下のコンクリート基礎の上に設置されている。この基礎は建物の柱と接続されている。このことから、IHS観測点のサイト特性は地盤の要素に建物の要素が重なったものと考えられる。微動のスペクトル比の形状と、IHS/KYU観測スペクトル比を考えると、IHS/KYU観測スペクトル比における高周波数側の低減は建物の効果（入力損失）の影響であると考えられる。

5. おわりに

関西地震観測研究協議会（CEORKA）のKYU観測点に対するIHS観測点の相対的なサイト特性を求めた。求められた相対サイト特性は入射地震波の影響をあまり受けず、IHSにおいて、5~6Hz以上で高周波数側が顕著に減衰していることが明らかとなった。微動観測の解析結果と総合すると、この減衰はIHS観測点が位置している吉田南2号館の影響が支配していると考えられる。なおKYU観測点は小屋に位置しており、その影響はほとんどないものと考えられる。

なお、関西地震研究協議会による京都大学吉田地区での強震観測は今後、IHS観測点での観測のみになる。IHS観測点が位置する吉田南2号館は耐震改修を済ませており、その振動特性が今後大きく変わることは予想されない。

謝 辞

本研究では関西地震観測研究協議会による波形記録を用いた。震源要素は気象庁一元化震源を用いた。後藤浩之博士にはKYU観測点に関する情報をいただいた。記して感謝します。

本報告の一部は茂泉優の京都大学総合人間学部卒業研究によるものである。

参考文献

岩田知孝・入倉孝次郎（1986）：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震第2輯，第39巻，pp. 151-156.

鶴来雅人・澤田純男・宮島昌克・北浦勝（2002）：関西地域におけるサイト増幅特性の再評価，構造工学論文集，第48号A，pp. 577-586.

Relative Site Effects at the CEORKA Strong Motion Stations in Yoshida Campus , Kyoto University

Mamoru KATO*, Yu MOIZUMI**, and Tomotaka IWATA

* Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

** School of Integrated Human Studies, Kyoto University

Synopsis

We estimated relative site effects between IHS and KYU of CEORKA strong motion stations in Yoshoda Campus, Kyoto University. The relative site effects are obtained from the Fourier amplitude spectra of 70 local event records observed at two stations. The relative site effect show almost 1 up to 5 Hz and decreases in the range higher than 5Hz. Results of complimentary microtremor observations at two station sites, we found that this difference is due to the input loss at IHS.

Keywords: strong motion, site effects, CEORKA