

常時微動観測結果を用いた地表面最大水平速度の簡易評価手法の提案

前島 大吾 江尻 譲 嗣

Local Site Amplification of Peak Horizontal Ground Velocity based on Microtremors

Daigo Maejima Joji Ejiri

Abstract

A method for estimating peak horizontal ground velocity on the surface (PGVs) has been proposed. PGVs is obtained by multiplying peak horizontal ground velocity on an engineering oriented base (PGVb) by the local site amplification factor (V_{amp}). PGVb is estimated by the "improved" attenuation equation based on that of Joyner & Boore (1981). V_i value is proposed as an index of local site amplification to estimate V_{amp} and derived by integrating the H/V spectrum which represents the Fourier amplitude spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors.

Microtremor measurement was done at about 240 sites in Kyoto city to evaluate V_{amp} . To verify the estimation method for prediction, the regional distribution of PGVs in Kyoto city during the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake was estimated and compared with the regional distribution of damaged wooden houses.

概 要

表層地盤の増幅特性を常時微動を利用して評価し、強震時における地表面の最大水平速度の簡便な評価手法を提案した。表層地盤の揺れやすさを表す指標として、常時微動のH/Vスペクトルの周期範囲(0.1-5.0秒)の積分値である V_i 値を提案した。京都地区の2サイトにおける兵庫県南部地震観測記録を用いて、地点間の V_i 値比が相対的な揺れやすさの差を表す様に定義し、その他のサイトの観測記録を用いて検証した。リファレンスサイトにおける増幅特性は観測記録により設定した。京都市域240サイトにおいて常時微動観測を行い V_i 値を求め、 V_i 値の分布が地盤特性をうまく説明することを示した。リファレンスサイトとの V_i 値比をリファレンスサイトの増幅特性に乘じ各サイトの増幅特性を求めた。試算として増幅特性と距離減衰式による兵庫県南部地震における工学的基盤の速度予測値から、京都市域の地表面の最大速度分布を推定したところ、最大水平速度の大きい範囲が兵庫県南部地震の木造家屋の被害地区と一致した。

1. はじめに

地震動は表層地盤特性の影響を強く受けることから、都市において面的な地震動や被害の分布を推定する場合には、表層地盤増幅特性のマイクロゾーニングが重要となる。手法の簡便性から一般に、微動H/Vスペクトル(常時微動の水平成分と鉛直成分のフーリエ振幅スペクトルの比、以下H/Vと称す)が利用され、H/V自体を表層地盤のS波伝達関数と見なしたり、そのピーク周期やピーク値をそれぞれ地盤の卓越周期や増幅特性の近似値と考えて、マイクロゾーニングの指標とする場合が多い^{1),2)}。卓越周期は基盤深度等との相関性が高く物理的根拠が比較的確であるが³⁾、H/Vの振幅値が地盤の増幅特性かどうかについては理論的根拠が不明で現在も検討課題となっている。

本研究ではH/Vの適用限界を明らかにし、表層地盤の揺れやすさを表す指標として、H/Vの積分値である V_i 値を提案し、サイト間の V_i 値の比が、最大水平速度増幅特性

の比と相関があることを兵庫県南部地震の観測記録を用いて検証した。 V_i 値から地表面最大水平速度の簡便な評価手法を提案した。京都盆地の240サイトにおいて常時微動観測から V_i 値を求め、試算として兵庫県南部地震時の最大水平速度の分布を提案した手法で評価した。

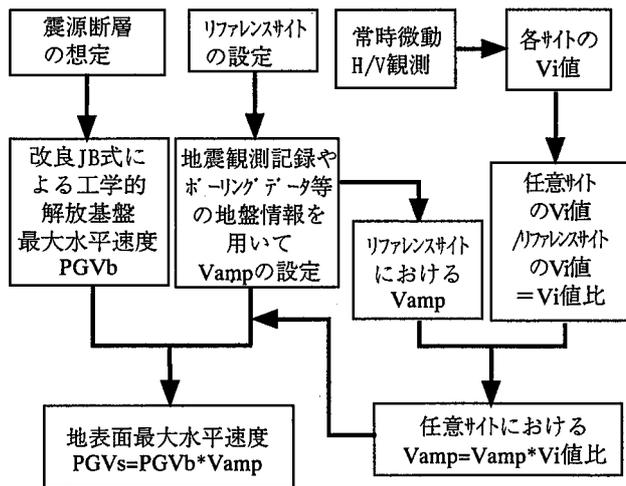
2. 地表面最大水平速度の評価法の概要

サイト間の V_i 値の比が表層地盤特性に帰因するサイト間の相対的な揺れ易さの相異の程度を表す指標であると、これを用いた地震時の地表面最大水平速度(以下PGVsと称す)の評価法について述べる。

対象エリアを数km平方程度の地区ブロックに分割し、ブロック毎に地震観測記録や地盤情報のあるサイトをリファレンスサイトと設定する。Fig. 1(a)はリファレンスサイトにおけるPGVsの評価法を示している。まず震源断層を想定し、想定マグニチュードならびに断層線とリファレンスサイト間の最短距離からディレクティブ

ティ効果を考慮したJoyner&Booreの距離減衰式⁴⁾(以下JB式と称す)により工学的解放基盤の最大水平速度(以下PGVbと称す)の推定値を求める。PGVsとPGVbの比を地盤増幅特性の指標Vampと定義する。リファレンスサイトのVampは、地震観測記録やボーリング柱状図等の地盤情報を用いて設定する。

常時微動以外に情報のないような任意のサイトのPGVsは、同サイトのPGVbとVampの積から求められる。PGVbはJB式より容易に得られるがVampを新たに評価する必要がある。任意のサイトのVampの評価手法をFig.1(b)に示す。常時微動観測結果のH/VからVi値を求める。Vi値はサイトの揺れ易さを表わす指標である。すなわちリファレンスサイトのVi値に対する任意のサイトのVi値の比(以下Vi値比と称す)は、リファレンスサイトに対して任意のサイトがどのくらい揺れ易いかを示している。既知であるリファレンスサイトのVampにVi値比を乗じ任意のサイトの増幅特性Vampを評価する。



(a) PGVsの評価 (b) 任意サイトにおけるVampの評価

Fig.1 地表面最大水平速度の評価
Flow Chart of Estimation of Peak Horizontal Grand Velocity

3. H/V振幅情報の適用限界の検討

反射法探査や微動アレー観測によってS波速度構造が既知であるサイト(京都)において、常時微動観測から若松の提案した手法⁵⁾によりH/Vを求め、S波速度構造による理論伝達関数と比較検討を行った⁶⁾。Table 1は反射法探査の結果を初期モデルとし、微動アレー観測結果による位相速度分散曲線を満たすように逆解析で求めた、サイトのS波速度構造モデルである。H/Vがどの地層を基盤と考えたときの増幅特性に相当するか検討するため、Table 1のS波速度構造モデルにおいて基盤となる層をかえて、1次元重複反射解析より理論伝達関数を求めた。その結果S波速度1.04km/sの層を基盤と考えたときの理論伝達関数がH/Vと最もよい対応を示した。Fig.2はH/V(実線)とその時の理論伝達関数(点線)を示している。基盤からの増幅特性を表すと考えられるピーク周期は共に1.6秒付近にあり、谷の周期も共に0.9秒付近と一致している。ごく表層の影響の大きい短周期側はジャストポイントの測定ではないということもあり一致しないが、周期に関してはよい対応をしているといえる。しかしピーク振幅に関しては、H/Vは2.7、理論伝達関数は2.2と差がありH/Vのピーク振幅を増幅特性として用いるには課題がある。

4. Viの提案と検証

最大地動は、地震動中に含まれる様々な周期成分の影響を受けていることから、H/Vのピーク値のみで地盤増幅特性を評価することには問題があると考え、本研究では、H/Vの周期に対する積分値であるVi値という揺れ易さの指標を提案した。Vi値は式(1)で定義される。

$$Vi = \int_{T1}^{T2} H/V(T)dT \quad \dots\dots\dots(1)$$

Table 1 地盤構造モデル
Underground Structure Model

thickness (m)	S-wave velocity (km/s)	density (tf/m ³)
4	0.1	1.7
49	0.45	1.7
130	0.50	1.8
65	0.70	1.8
239	1.04	2.0
136	1.23	2.1
100	2.50	2.3
∞	3.20	2.7

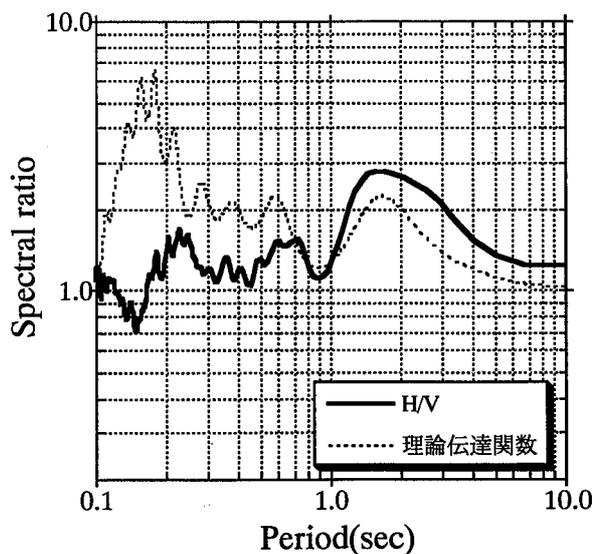


Fig.2 最大水平速度の増幅特性の比較
Comparison of Site Amplifications

Table 2 増幅特性VampとVi値の比較
Comparison of Site Amplification Factor (Vamp) and Vi

京都地区			
site	伏見	京都	伏見/京都
distance from fault (km)	50.08	53.47	-
PGVs (kine)	17.51	13.78	-
PGVb (kine)	10.80	10.54	-
Vamp =PGVs/PGVb	1.62	1.31	1.24
Vi	12.43	9.17	1.36
神戸地区			
site	葺合	神戸本山	葺合/本山
Vamp	1.56	1.11	1.41
Vi	9.71	7.91	1.23

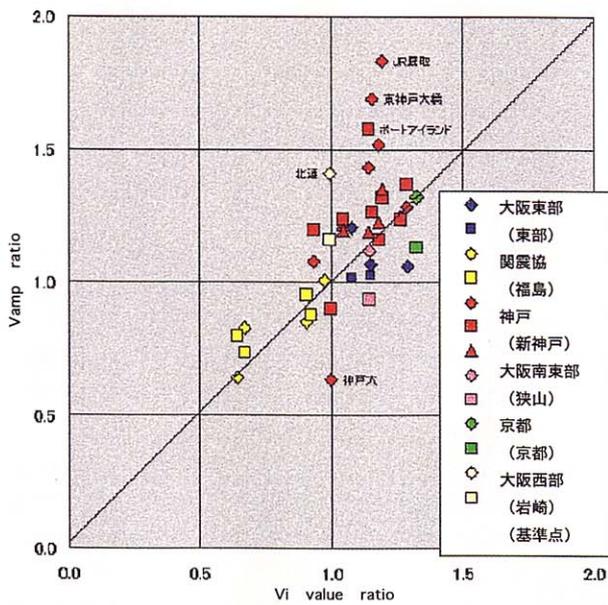


Fig. 3 サイト間の増幅特性Vampの比とVi値比の比較
Comparison of Ratio of Site Amplification Factor (Vamp) to Vi Value Ratio

兵庫県南部地震の観測記録とJB式を用いて京都地区の2サイト(伏見と京都)のVampを算定し、これらの比が2サイト間のVi値比を満たす様に、また最大地動に寄与する周期帯を考慮して、積分範囲T1-T2を(0.1-5.0秒)と決定した⁷⁾。Table 2のPGVsは兵庫県南部地震の観測結果の軸方向地表面最大水平速度であり、PGVbはJB式による推定値である。ただしJB式は断層近傍でのPGVbを過大評価する傾向が見られたため、兵庫県南部地震の本震と多数の余震記録を用いて距離に関する減衰

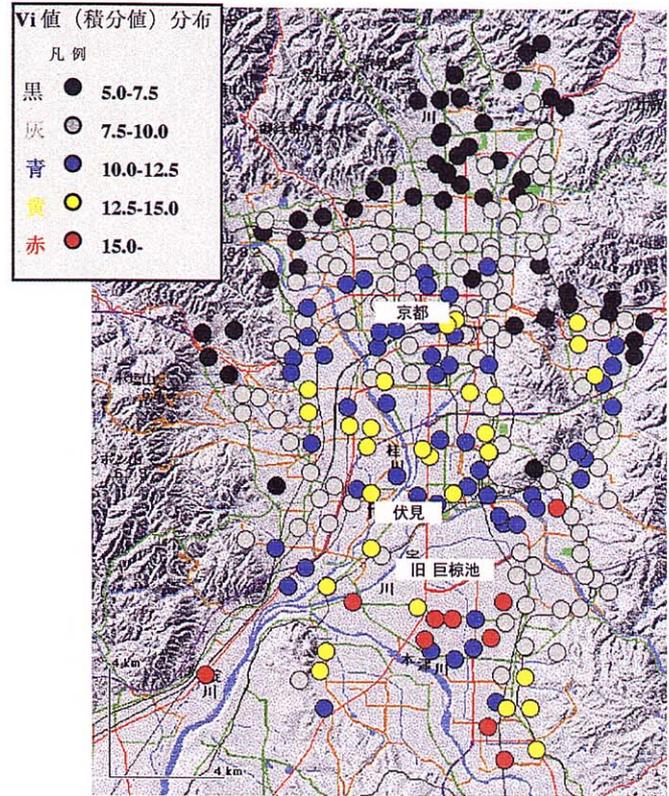


Fig. 4 京都市域におけるVi値の分布
Distribution of Vi Value at Kyoto City

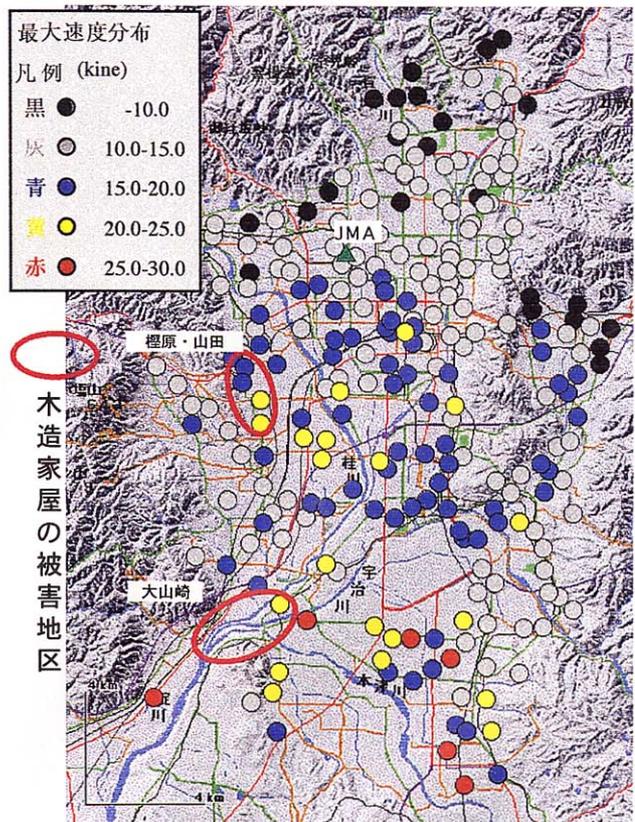


Fig. 5 京都市域における地表面最大速度の分布
Distribution of PGVs at Kyoto City

特性を多少修正⁷⁾したものを用いている。京都のVampは1.31、伏見は1.62で、京都に対して伏見は1.24倍程度の揺れ易さである事を示す。両サイトの常時微動観測から求まるVi値比(伏見/京都)は1.36と、ほぼVamp比を満たす。また神戸地区での結果でもよい対応を示す。

兵庫県南部地震の観測記録や地盤情報を用いて、Vi値比とVamp比がよい対応を示すことを検証する⁸⁾。増幅特性Vampは以下の2通りの方法で求める。一つは前述のような観測記録から得られるPGVsとJB式により推定したPGVbの比で定義される増幅特性Vampである。他方は表層30mの平均S波速度と工学的基盤のS波速度(ここではVs=500m/s)の比の(-0.6乗)で定義されるVampで、経験的に増幅特性を近似することが確かめられている⁹⁾。各サイトのVi値と増幅特性Vampを求めた。震源からほぼ等距離であり、PGVsの差異を増幅特性の差異で説明できる地区において基準点を設け、サイト間のVi値比とVamp比をFig.3にプロットした。ほぼ1対1の対応をしており、京都・神戸地区以外でもVi値比が地盤の揺れ易さの相異を表すことを示している。ただし湾岸埋立のVi値は過小評価される傾向がみられ今後の課題である。

5. Vi値の分布と地表面最大水平速度の評価

京都市域において約240サイトの常時微動観測を行い、各サイトのVi値の分布をFig.4に示した。Vi値は北部では小さく南部に行くほど大きくなる傾向が見られる。京都の北部は岩盤露頭が見られたり、堆積層が薄い事が知られており、Vi値が小さく揺れ難いことと調和的である。伏見周辺のVi値が大きい、この付近では深草粘土層と呼ばれる厚い堆積層の存在が知られている。また旧巨椋池の南部にもVi値が大きいところが集中しているが、旧巨椋池の存在からも分かるように木津川の氾濫平野である。同様に木津川、宇治川、桂川が淀川へと合流するサイトもVi値が大きくなっており、厚い堆積層の存在を示唆している。山科盆地では、周囲の岩盤サイトと盆地中央の堆積層が厚いサイトの地盤増幅特性の相異をVi値は旨く表現している。Fig.1に示した地表面最大水平速度PGVsを評価する手法に基づき兵庫県南部地震の京都市域のPGVsの地域分布の推定を行った。Vampが既知なりファレンスサイトは前述の京都サイトとし、VampやS波速度構造を参考にVampを1.31と設定した。Fig.5に兵庫県南部地震の京都市域におけるPGVsの地域分布を示す。兵庫県南部地震による京都市域の家屋被害状況¹⁰⁾によると枠で囲んだ桂川西方の樫原山田地区や3川の淀川への合流地点北側の大山崎地区に被害が集中した。PGVsの予測値が大きな地域と対応している。ただ旧巨椋池の南部では、大きな工場はあるが住宅密集は少なく家屋の被害報告がないと思われる。またJMA京都での観測加速度波形¹⁰⁾から推測されるPGVsはおおよそ11kineであり、Fig.5に示す結果と調和的である。

6. まとめ

常時微動から得られる表層地盤増幅特性の指標Vi値とそれを用いた強震時における地表面最大水平速度の評価手法を提案し検証した。京都市域における常時微動観測を行い、Vi値の分布で増幅特性を表せる事を示した。兵庫県南部地震の最大速度分布が家屋被害や観測記録と良い対応をした。

謝辞

本論文は大阪ガス(株)との共同研究の成果です。関係各位に謝意を表します。また観測記録や地盤情報を御提供頂いた諸機関の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村, 上野: 地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み, 第7回日本地震工学シンポジウム, p.265~270, (1986)
- 2) 若松, 澤田, 大堀, 入倉: 微動から見た大阪平野の地盤震動特性, 日本建築学会第24回地盤震動シンポジウム, p.21~34, (1996)
- 3) 大町, 紺野, 遠藤, 年縄: 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, No.489/I-27, p.251~260, (1994)
- 4) 後藤, 江尻, 土岐: ディレクティブティ効果を考慮した内陸活断層による最大地動の評価法, 第31回地盤工学研究発表会, p.1117~1118, (1996)
- 5) 若松: 微動の水平上下スペクトル比による地盤振動特性の評価とその工学的利用に関する研究, 第31回地盤工学研究発表会, p.1117~1118, (1996)
- 6) 小川, 清水, 土岐, 宮腰, 前島, 江尻: 微動H/Vから推定される地盤震動特性の物理探査データに基づく検討, 第52回土木学会年次学術講演会概要集, I-B281, p.560~561, (1997)
- 7) 小川, 清水, 土岐, 江尻, 前島: 常時微動観測結果を用いた最大速度増幅特性の検討(京都市域の場合), 第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, b-22, p.243~246, (1997.11)
- 8) 小川, 清水, 土岐, 江尻, 前島: 常時微動観測結果を用いた最大速度増幅特性の検討(京都市域の場合), 第10回日本地震工学シンポジウム, 投稿中
- 9) 翠川: 地震断層と地盤条件を考慮した地表面最大加速度・最大速度分布の推定, 日本建築学会第8回地盤震動シンポジウム, p.59~64, (1980)
- 10) 植村: 兵庫県南部地震による京都市周辺の家屋被害と発生要因, 断層研究資料センター, p.11~35, (1996)