

常時微動観測結果を用いた 最大水平速度分布簡易予測手法の種々の検証

小川安雄¹・清水謙司¹・前島大吾²・江尻譲嗣²

- 1 大阪ガス株式会社 技術部土木建築技術チーム (〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2)
2 株式会社大林組技術研究所 土木第五研究室 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640)

著者らは、常時微動観測結果から得られる揺れ易さの指標 V_i 値および、サイト間の V_i 値比を用いた、強震時における地表面の最大水平速度の簡易評価手法を提案している。評価手法の精度は、「サイト間の V_i 値比と V_{amp} の比の相関関係」に依存する為、以下に述べる種々の検証を行った。工学的基盤で浅の最大水平速度の増幅特性 (V_{amp}) を①表層地盤の平均 S 波速度から簡易的に求める手法②兵庫県南部地震や北海道東方沖の観測された最大水平速度から求める手法③神戸市域、京都市域、釧路市域における 1 次元重複反射解析から求める手法等から算定した。その結果、サイト間の V_i 値比が V_{amp} の比と調和的であり、そのバラツキが $\pm 5 \sim 20\%$ の範囲内である事を確認した。また V_{amp} の評価精度を上げれば、両者の相関は増す事から、 V_i 値は揺れ易さの指標として妥当である事がわかった。

Key Words : Local site amplification factor, Peak horizontal ground velocity, V_i value, Microtremor

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、面的な地震動強度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。また強震時の埋設管等の被害推定の際は SI 値と相関の高い地表面の最大水平速度が良い指標となる。我々は、サイト毎の表層地盤増幅特性を考慮した地表面最大水平速度(以下 PGVs)の簡易評価手法を提案している。概要を図1の評価フローに従って述べると、①震源断層を想定し、改良した Joyner&Boore の距離減衰式(以下改良 JB 式)により工学的解放基盤の最大水平速度(以下 PGVb)を推定②PGVs と PGVb の比を最大水平速度増幅特性(以下 V_{amp})と定義③リファレンスサイトの $V_{amp_{ref}}$ は、地震観測記録や地盤情報を用いて設定④リファレンスサイト以外を任意のサイトと呼び、リファレンスサイトおよび任意のサイトにおいて常時微動観測を行い微動 H/V を求める⑤微動 H/V の 0.1~5.0 秒までの積分値を V_i 値と定義⑥リファレンスサイトに対する任意のサイトの V_i 値比を求める⑦ V_i 値比と V_{amp} 比が等しくなると仮定すれば、任意のサイトにおける V_{amp_x} が求まる⑧ PGVb は任意のサイトでも改良 JB 式から求まるので、 V_{amp_x} を乗じて任意のサイトにおける PGVs を評価 というものである。本手法で重要なのは、「サイト間の V_i 値比と V_{amp} 比が等しくなる」という仮定であり、京阪神地区における 1995 年兵庫県南部地震の観測記録を用いた検証²⁾や京都盆地における推定地盤モデルの重複反

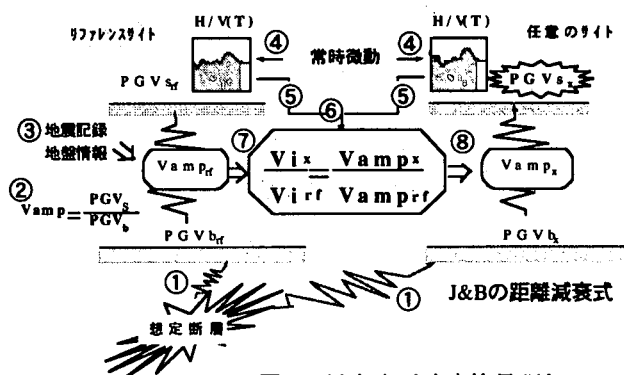


図1 最大水平速度簡易評価フロー

射解析を用いた検証³⁾釧路市域での高密度強震動観測記録を用いた検証⁴⁾を個々に行ってきた。本論文では、それらを検証手法ごとに整理し直し、比較した。

2. 検証手法概要

以下に述べるいずれの手法も、「サイト間の V_i 値比と V_{amp} 比が等しくなる」事の検証に主眼が置かれているのは同じであるが、根拠となる情報の差違に基づいて、3つの手法から V_{amp} を評価した。詳細は次章以下に譲るが、3手法の概念を図2に示し、概要に触れる。**手法1**：表層 30m の平均 S 波速度と解放基盤の S 波速度の比の -0.6 乗から簡易的に求まる V_{amp} ⁵⁾を用いた検証 **手法2**：地表面最大水平速度 PGVs は地震観測波形から、解放基盤の最大水平速度 PGVb は距離減衰式(改良 JB 式)から評価し、両者の比から求めた V_{amp} を用いた検証 **手法3**：PGVs は地震観

測波形から求め、地盤構造モデルを用いて1次元重複反射解析からPGVbを評価し、両者の比から求めたVampを用いた検証

以上の各手法で得られたVampと常時微動観測から得られるVi値をサイト間比とし比較検討する。実務では、強震記録や地盤情報があるサイトをリファレンスサイトとして設定し、リファレンスサイトと任意のサイトの比を比較するが、検証ではリファレンスサイトの取り方による偏差をなくす為、平均的な(Vi値, Vamp)をとるサイトをリファレンスサイトとした。両者の相関関係は、Vi値比-Vamp比の傾きと1対1の直線の成す角を正規分布に従うバラツキの指標とした時の±1σの範囲および相関係数から評価した。

3. 表層地盤の平均S波速度から簡易的に求めたVampを用いた検証

図3は京阪神地区において1995年兵庫県南部地震の強震記録が観測されたサイトであり、ほぼ全サイトにおいて、表層地盤のPS検層もしくはボーリング柱状図が整理されている。前章で述べた手法1に基づいて各サイトのVampを評価した。N値しか情報がない場合は、N値-S波速度の相関式から推定した。深度30m以浅にN値50以上の支持層がある為、それ以深の情報が無いサイトは、Vs=350m/sの層が深度30mまでであると仮定し、表層30mの平均S波速度を求めた。解放基盤のS波速度は500m/sと想定した。同サイトにおいて常時微動観測を実施しVi値を求め、Vampとサイト間比を比較し図4に示した。その際、京阪神地区全域では、簡易評価手法の対象スケール(数Kmスクエア)より大きいので、共通の基盤構造を持つと思われる地区ブロック(東大阪ブロック、西大阪ブロック、神戸ブロック、京都ブロック)毎に整理し



図3 兵庫県南部地震強震記録観測サイト

た。その結果、±1σが15%程度内であり、相関係数は0.48である事を示した。

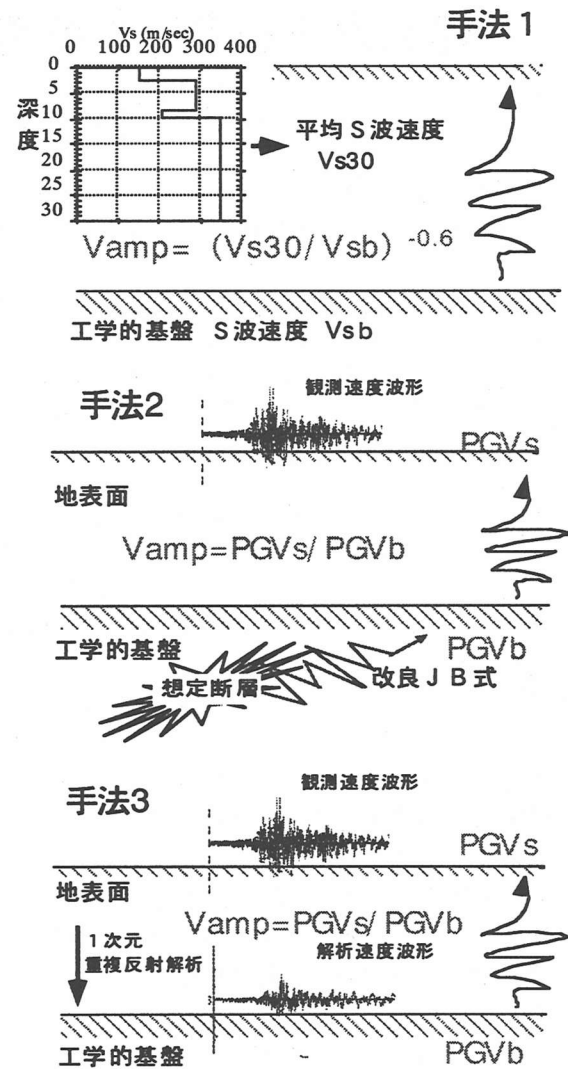


図2 Vampの評価手法 概念図

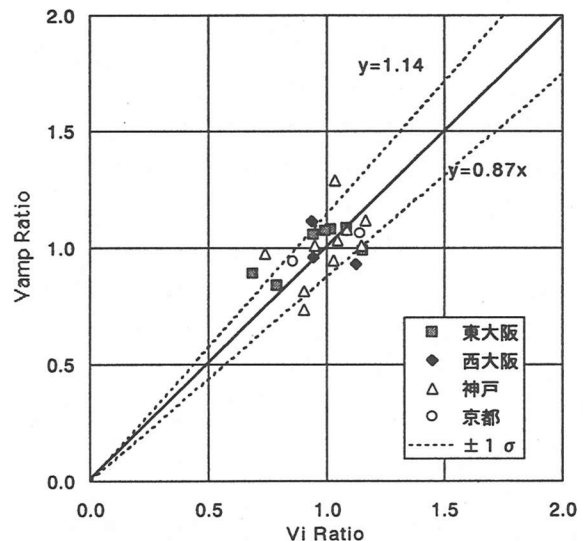
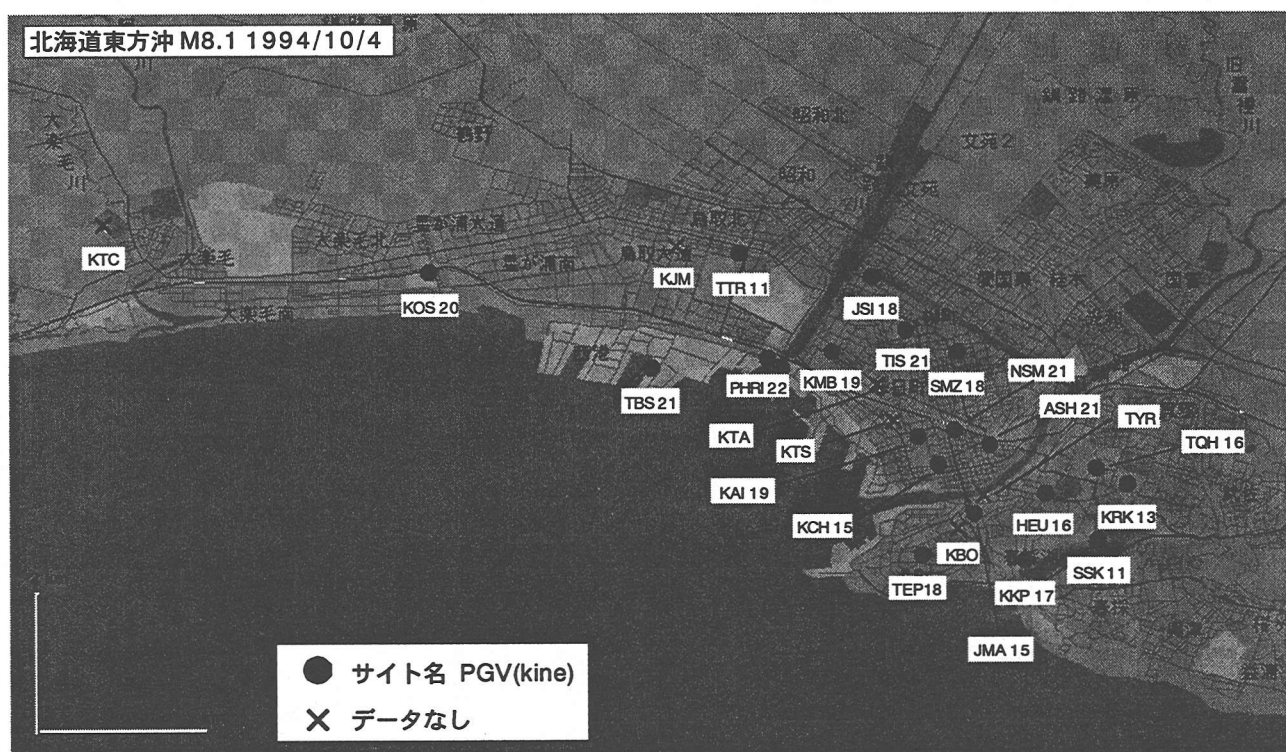


図4 検証手法1: Vi値比とVamp比の関係



4. 強震記録と距離減衰式から求めた Vamp を用いた検証

手法2に従い、前章図3のサイトにおいて得られた1995年兵庫県南部地震の強震記録からPGVsを評価し、改良JB式から推定したPGVbとの比からVampを求め、前章図4と同様にサイト間のVi値比とVamp比を比較した結果を図6に示した。

1993年釧路沖地震では明確なサイトエフェクトが見られ、これを解明する目的で釧路市域において1年半の間、高密度強震観測が実施された。⁹⁾その期間中に、1994年北海道東方沖地震（マグニチュード8.1）の高密度強震記録が観測された。PGVsの分布を図5に示す。この地震では市域東部の台地での大きな加速度記録が注目されたが、図5からも分かるように、速度に着目すると低地の方が良く揺れた事がわかる。これらを用いて手法2に従い、各サイトのVampを求めた。同サイトにおいて常時微動観測を実施しVi値およびサイト間のVi値比求め、Vamp比と比較し図6に追加した。また数点であるが、1993年釧路沖地震から求めたVampを用いた検証結果も図6に付け加えた。Vampの根拠となる強震記録によるPGVsは、地盤増幅特性以外にセンサーの性能、設置状況や不整形地盤効果や強非線形効果等の不確定な要素も多く含まれ、PGVbは改良JB式から推定した平均的な値であり、Vampの評価精度は必ずしも高くないと推測されるが、Vi値比とVamp比の関係のバラツキは、 $\pm 1\sigma$ が20%程度であり、相関係数は0.49である事を示した。

図5 1994年北海道東方沖 釧路市域 PGVs分布

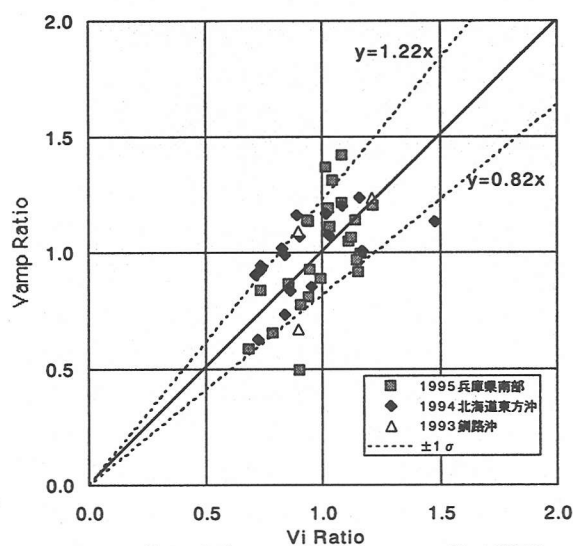


図6 検証手法2: Vi値比とVamp比の関係

5. 一次元重複反射解析から求めた Vamp を用いた検証

1) 神戸市域および釧路市域の同定地盤構造モデルを用いた場合

神戸市域の反射法探査、微動アレイ探査、PS検層等により地盤構造モデルが精度よく同定されているサイトにおいて、手法3に従い、1995年兵庫県南部地震の地表面観測波を地盤構造モデルに入射し、Vampを求めた。同様に、1994年北海道東方沖地震観測波を釧路市域の各サイトの地盤構造モデルに入射しVampを求めた。サイト間のVi値比とVamp比を比較した

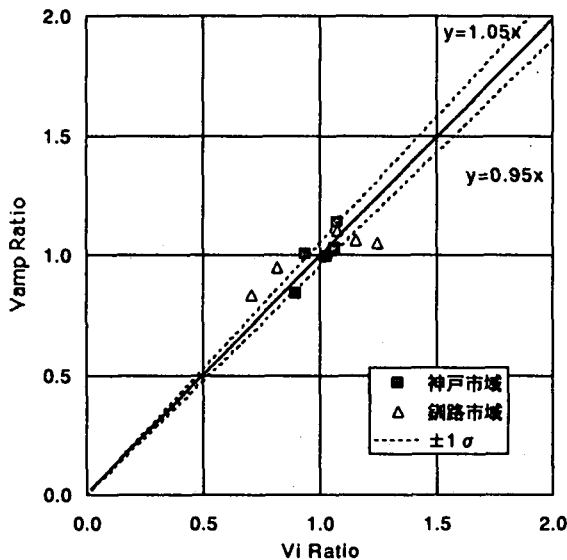


図7 検証手法3: Vi値比とVamp比の関係

(地盤構造モデルが精度よく同定されている場合)

結果を図7に示した。地盤構造モデルを精度よく求め、Vampの評価精度を上げた場合、 $\pm 1\sigma$ が5%程度内であり相関係数は0.79である事を示した。

2) 京都市域の推定地盤構造モデルを用いた場合

京都盆地中央部の京都リサーチパーク（以下京都RP）から伏見までの約50サイトの地盤構造モデルを推定し、手法3と同義な検証をした。地盤構造モデルの推定手法およびVamp評価法を図8に示す。京都RPは反射法探査、微動アレイ探査により精度よくやや深いところまで地盤構造モデルが同定されている。また京都盆地では重力探査が行われて基盤深度分布が求められており、S波速度1040m/sの層が対応していると思われる。層構成は不変として、基盤深度に合わせて層厚を比例配分し各サイトの深層モデルとした。浅層モデルは柱状図より評価し深層モデルに追加した。京都RPにおいて解析から得られた基盤波を距離補正して、各サイトの推定地盤構造モデルの基盤に入射した。重複反射解析により地表面波を求め、PGVsとPGVbの比からVampを求めた。同サイトにおいて常時微動観測を実施しVi値を求め、Vampとサイト間比を比較し図9に示した。地盤構造モデルをおおまかに推定した場合でも、 $\pm 1\sigma$ が20%程度内であり、相関係数は0.50である事を示した。

6. まとめ

提案している最大水平速度簡易予測手法を、「サイト間のVi値比とVamp比の相関関係」に着目して、種々の方法で検証した。Vampを精度よく求めれば、両者の相関が増す事から、常時微動から得られるVi値は、揺れ易さの指標として妥当である事、いずれ

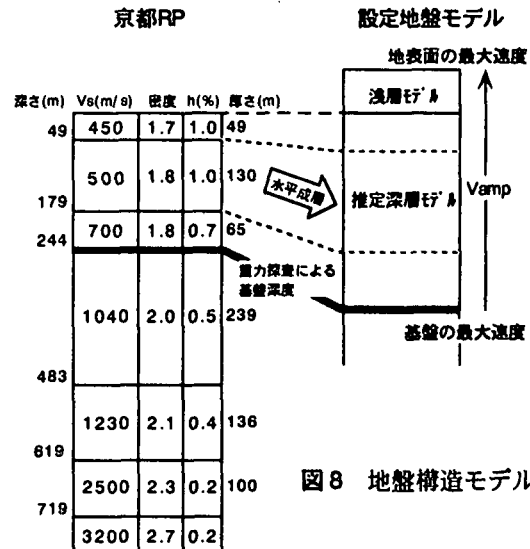


図8 地盤構造モデル推定手法

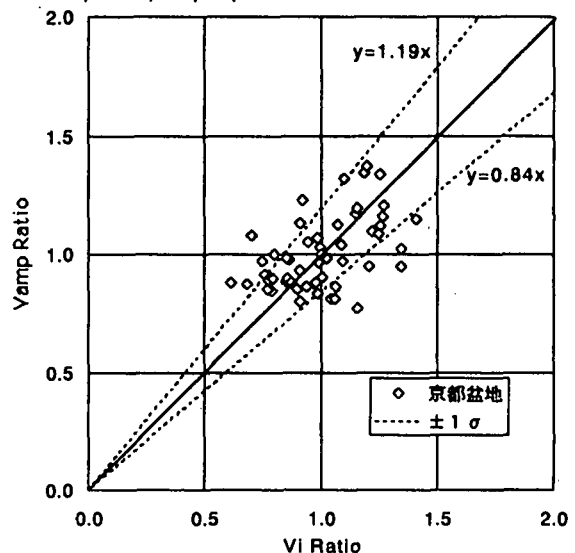


図9 検証手法3: Vi値比とVamp比の関係

(推定地盤構造モデルを用いた場合)

の手法においても、両者に相関関係が認められ、そのバラツキは5～20%以内である事が分かった。

参考文献

- 1) 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, b-22, pp.243-246, 1997
- 2) 小川, 清水, 江尻, 前島: 常時微動観測結果から評価した地盤増幅特性の検証, 第10回日本地震工学シンポジウム, Vol11, c4-19, pp959,964, 1998
- 3) 小川, 清水, 江尻, 前島: 常時微動を用いた最大速度増幅特性評価手法の重複反射解析による検討, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, a-25, pp.139-145, 1998
- 4) 小川, 清水, 江尻, 前島: 常時微動を用いた最大水平速度増幅特性評価手法の釧路市域強震記録を用いた検証, 第54回土木学会年次学術講演会概要集, 投稿中
- 5) 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, PP.59-64, 1980
- 6) ESG研究委員会: 釧路市における共同強震動観測 1994北海道東方沖地震,(財)震災予防防協会, 1995