

地震観測記録より推定した関東平野におけるサイト特性と地形分類との関係

スペクトルインバージョン サイト特性 地形分類
 関東平野 地表平均 S 波速度

正会員 川上 洋介*
 正会員 嶺 纈 一起**
 正会員 久田 嘉章***

1. はじめに

地震防災を考える上で対象とする地域がどれだけ地震動による影響を受け易いかを予め評価しておくことは重要であり、そのためには広域にわたる地震動評価をする必要がある。その例として地震調査研究推進本部による地震動予測地図が挙げられる。地震動予測地図では地盤増幅として地形分類に基づいて評価する松岡・翠川(1994)による最大速度振幅における増幅率を用いている。一般的にサイト特性は地震動の地域性に最も大きな特徴を与えると考えられており、それを面的に捉えるためにはこのように地形分類との対応関係を用いるのが合理的と考えられているが、前述したように松岡・翠川(1994)で評価できるのは最大速度振幅における増幅率であり、必ずしも構造物に重大な損傷を与え得る周期帯をカバーしているとは限らないことに注意しなければならない。

そこで、本研究では面的かつ広帯域なサイト特性を定量的に評価可能にすることを目的とする。その方法は、まず岩田・入倉(1986)に代表されるスペクトルインバージョンによりサイト特性を分離評価し、その結果を若松・松岡(2003)による地形分類と対応付ける。スペクトルインバージョンには多数の観測記録が必要になるが、1995年兵庫県南部地震以降国や自治体、企業によって多くの強震計が設置され観測記録が蓄積されつつあり、首都圏においてはそれらの観測記録を収集・整理して高密度な強震計ネットワークを確立する首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)が成立している[例えば鷹野・他(2002)]。本研究ではこれら多数の強震計が存在する関東平野を対象として、サイト特性と地形分類との関係性を導いていく。

2. 地震動特性の分離

解析に用いるデータセットは関東平野周辺で発生した M4.1 ~ 5.8、震源深さ 18 ~ 86km の 17 個の海溝性地震による関東平野内の K-net、SK-net 観測点 557 個で得られた 4533 波(9066 成分)である。なお震源距離が 200km を超えるものおよび SN 比が良くないものは解析対象から外してある。

地表で観測される地震動の S 波部分は次式で近似できる。

$$O_{ij}(f) = S_i(f)G_j(f) \frac{\exp(-\pi f R_{ij}/Q_s(f)V_{Sij})}{R_{ij}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで $O_{ij}(f)$ は i 番目の地震の j 番目の観測点における S 波部分の観測スペクトル、 $S_i(f)$ は i 番目の地震の震源スペクトル、 $G_j(f)$ は j 番目の観測点における地盤増幅特性を示すスペクトル、 R_{ij} は i 番目の地震の震源から j 番目の観測点までの距離、 $Q_s(f)$ は S 波の減衰特性を表す値の逆数、 V_{Sij} は i 番目の地震の震源から j 番目の観測点に至るまでの平均的な S 波速度をそれぞれ示している。

用いた地震には規模の小さいものも含まれており低振動数域で

は信頼性が欠けると考えられる。そこで、解析対象とする振動数範囲を 0.5Hz ~ 10Hz(0.1 秒 ~ 2 秒)と設定した。10Hz までとした理由は、それより高振動数域を考慮すると SN 比が満たされない(短周期ノイズを含む)記録が多くなり使用可能なデータ数が少なくなるからである。観測記録から S 波初動を目視により読み取り、それ以降を破壊継続時間の 3 倍に 2 秒を足したタイムウィンドウで切り抜く。ここで、マグニチュード M の地震の破壊継続時間 T_d は KINOSHITA(2002)を参考に次式で設定した。

$$T_d = 10^{(0.5M-2.2)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3 倍するのは堆積地盤での重複反射による時間を考慮するため、2 秒を足すのは解析対象範囲を 0.5Hz(周期 2 秒)まで考慮するためである。なおタイムウィンドウの両端にはウィンドウ幅の 1/10 の幅をもつコサインテーパを付加した。こうして切り出した S 波部分を振動数領域に変換して水平 2 成分の 2 乗和の平方根をとり、バンド幅 0.2Hz の Parzen Window で平滑化をして観測スペクトルとした。

震源スペクトルとサイト特性との間のトレードオフを避けるために本研究で用いる拘束条件は、対象とする観測点の中でも岩盤サイトに近いと考えられる K-net 観測点の TKY002(桧原)における地震基盤から地表に至る増幅特性であり、鶴来・他(1997)による経験的サイト増幅特性評価法を用いて評価した。なお、この拘束条件のみでインバージョンを行った結果 Q_s 値が 2Hz より高振動数側で既往の研究よりも小さい値(高減衰)となったので、これを補正するために Q_s 値を佐藤・他(1994)による $Q_s = 110f^{0.7}$ に拘束することとした。得られた震源変位スペクトルはコーナー振動数以降の落ち込みが ω^{-2} に従う経験的な震源スペクトルと良く対応するものとなった。

3. サイト特性と地形分類

拘束条件を地震基盤から地表までの増幅率としたことにより、インバージョンで得られたサイト特性は各観測点における地震基盤から地表に至る構造を反映したものと考えられる。そこで、神奈川県および千葉県により調査された深部 S 波速度構造と、そのごく近傍の K-net 観測点における表層 S 波速度構造を用い、1 次元の重複反射理論を適用して理論増幅率を計算し、インバージョン結果と比較した。図 1 に代表的なものを示す。ここで、理論増幅率を計算した際の地震基盤とインバージョンで基準となっている地震基盤が異なる可能性があることに注意を要する。図より、振幅の山谷はある程度理論増幅率と合うが、振幅レベルがインバージョン結果の方が大きい結果となった。

次に、インバージョンで得られたサイト特性と地形分類との対応関係について検討する。各観測点を若松・松岡(2003)による 250m メッシュの地形・地盤分類に基づいて分類し、それぞれの

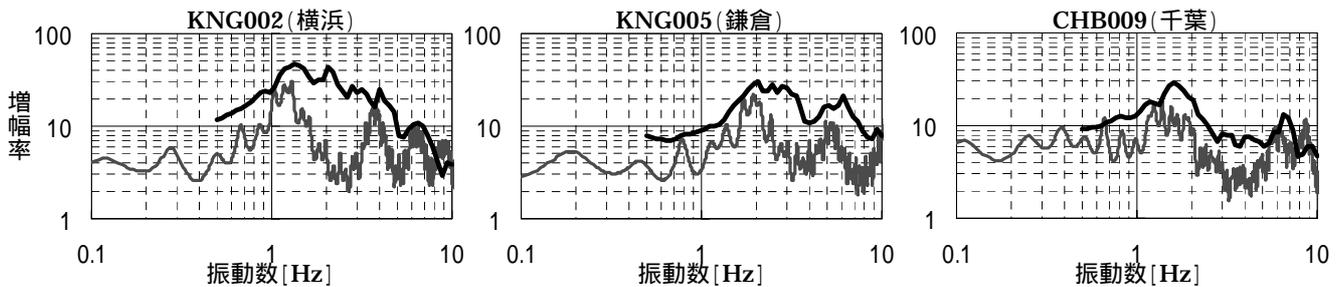


図1 サイト特性の比較 黒色線がインバージョン結果、灰色線が理論増幅率を示す

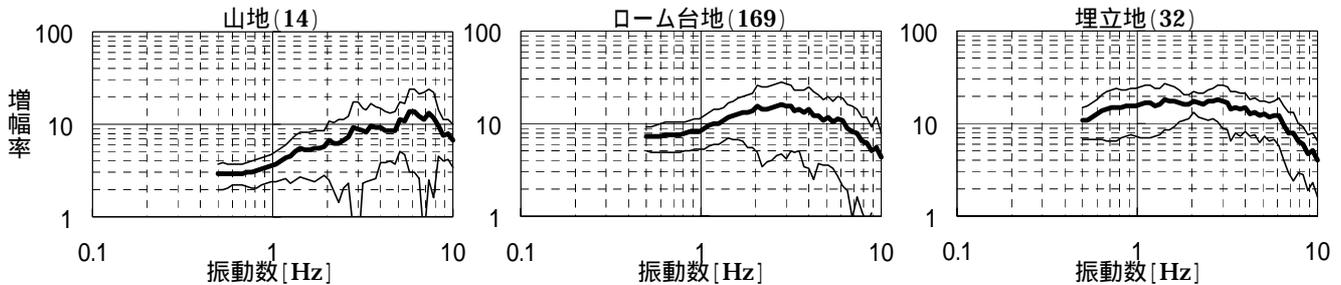


図2 地形分類と増幅率の関係 太線が平均値、細線が平均値±1 を示し、()内は母体数を示す

分類に属する観測点において振動数ごとに平均値を求めた。その代表的なものとして山地、ローム台地、埋立地の平均値と平均値±1σを図2に示す。山地では低振動数側の増幅がほとんど見られないが、風化層およびごく表層の薄い堆積層の影響で高振動数側が卓越する。ローム台地、埋立地となるに従いより広い帯域でサイト特性が大きくなっていることが分かり良い傾向が得られた。ばらつきが大きい振動数もあるが、この理由の1つとして観測点の地形分類がまだ適切に行われていないことが挙げられる。

次に地表30m平均S波速度(AVS30)との関係性を調べる。S波速度が調査されているK-net観測点と横浜市高密度強震計ネットワーク観測点において、司・翠川(1999)に基づき125点でAVS30を得た。これらの観測点において内山・翠川(2003)を参考にインバージョン結果のサイト特性を短周期領域(0.1~0.5秒)と長周期領域(0.5~1.5秒)に分け、それぞれの帯域の平均値を求める。短周期と長周期で分ける理由は、設計用スペクトルの加速度一定領域(短周期領域)と速度一定領域(長周期領域)における増幅率をターゲットと考えているからである。図3にAVS30とサイト特性との関係を示す。その結果AVS30とサイト特性との間で以下の関係が成り立った。

$$\begin{aligned} \log G_S &= 1.1864 - 0.1518 \log AVS30 \\ \log G_L &= 2.9259 - 0.8832 \log AVS30 \end{aligned} \quad (3)$$

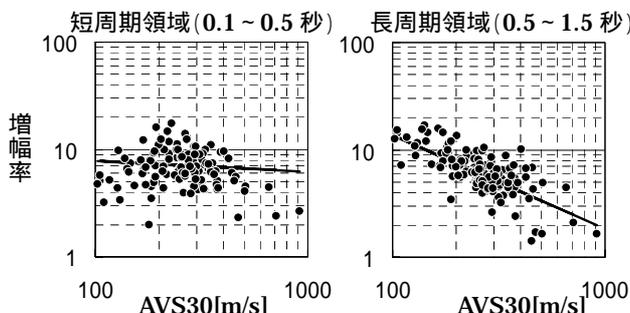


図3. AVS30とサイト特性の関係

ここで G_S 、 G_L は短周期領域と長周期領域におけるサイト特性の平均値を示す。決定係数はそれぞれ0.0226と0.5309である。

4. 今後の課題

インバージョンで得られたサイト特性は地震基盤から地表に至る構造によるものなので、それぞれを定量的に分離評価可能にできるようにしたい。なお、その際には地震基盤の定義を統一させておかなければならない。また、点データであるサイト特性の推定精度を上げること、観測点の地形分類分けをよりの確に行うことも課題として挙げられる。そして評価可能な地域を拡大し、最終的には日本全国にわたる広帯域な増幅率を定量的に評価可能にすることを目的としている。

謝辞

本研究は科学技術振興機構による計算科学技術活用型特定研究開発推進事業、および文部科学省による大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる助成を頂いております。防災科学技術研究所によるK-netの地盤データと観測波形データ、SK-netにおける東京都、東京消防庁、神奈川県、横浜市、埼玉県、千葉県、東京大学地震研究所の観測波形データ、横浜市、神奈川県、千葉県による地盤データを使用させて頂きました。関係各位に深く感謝致します。

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2, 第39巻, p579-593
- 内山泰生・翠川三郎(2003): 地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率の評価: 日本建築学会構造系論文集, 第571号, p87-93
- KINOSHITA Shigeo and OHIKE Miho(2002): Scaling Relations of Earthquakes That Occurred in the Upper Part of the Philippine Sea Plate beneath the Kanto Region, Japan, Estimated by Means of Borehole Recordings: Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.92, No.2, pp.611-624
- 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994): 表層地盤の影響を取り除いた工学的基盤波の統計的スペクトル特性: 日本建築学会構造系論文集, 第462号, p79-89
- 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式: 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp63-70
- 鷹野澄・菊地正幸・山中佳子・藤織一樹・古村孝志・工藤一嘉・卜部卓・武尾実(2002): 首都圏強震動総合ネットワークとSeismic Kantoプロジェクト、震災予防, No.134, pp22-25
- 鶴来雅人・田居優・入倉孝次郎・古和田明(1997): 経験的サイト増幅特性評価手法に関する検討: 地震2, 第50巻, p215-227
- 松岡昌志・翠川三郎(1994): 国土数値情報とサイスマックマイクロゾーニング: 第22回地盤震動シンポジウム資料集, p23-34
- 若松和寿江・松岡昌志(2003): 大都市圏を対象とした地形・地盤分類250mメッシュマップの構築: 土木学会地震工学論文集, CD-ROM

* 工学院大学大学院建築学専攻
[現: 株式会社 篠塚研究所(工修)]
** 東京大学地震研究所(理博)
*** 工学院大学建築学科(工博)

* Graduate school, Dept. of Architecture, Kogakuin University
[At Present: Shinozuka Research Institute, M.Eng.]
** Seismic Research Institute, Tokyo University, Dr.Sc.
*** Kogakuin University, Dr.Eng.