

主成分分析に基づくサイト増幅特性の地域性および地形との関連性についての検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○杉山佑樹, 田中浩平, 坂井公俊

1. はじめに

将来発生が予想される地震に対して, その地震動特性を予測するためには, 震源特性や伝播経路特性だけでなく評価地点のサイト増幅特性を適切に評価することが重要である。サイト増幅特性は地点ごとの深部地盤を含む地盤構造や地形に応じて異なると考えられるが, それらの情報との関連性は明確でない。

そこで, 本検討では, 日本全国で評価されているサイト増幅特性を対象に主成分分析を実施し, サイト増幅特性の特徴を把握するとともに, 得られた特徴量の地域性や地盤構造, 地形との関連性について検討した。

2. サイト増幅特性の主成分分析

野津ら(2007)¹⁾はスペクトルインバージョン手法を用いて, K-NET, KiK-netの観測点におけるサイト増幅特性を全国的に評価している。一例として, K-NET 豊中, K-NET 大阪, K-NET 河内長野(OSK003, OSK005, OSK009)における評価結果を図1に示す。大阪平野内に位置するK-NET 豊中, K-NET 大阪のサイト増幅特性は広い周期帯(周期 0.2~5.0 秒)で同程度であるのに対し, 大阪平野外縁部に位置するK-NET 河内長野のサイト増幅特性は周期 0.2~5.0 秒で相対的に小さいことが確認できる。このように, 同じエリアであっても地盤構造や地形の差異等によりサイト増幅特性が異なっていると考えられる。

そこで, サイト増幅特性の特徴を把握するため, K-NET, KiK-netの観測点における日本全国のサイト増幅特性¹⁾を対象に主成分分析を実施した。本検討では, 各観測点のサイト増幅特性を収集し, 周期ごとの平均値と標準偏差(図1 黒線, 黒破線)によってサイト増幅特性を標準化した後, 周期 0.1~5.0 秒を対象に主成分分析を行うことで, サイト増幅特性の主要な特徴(主成分ベクトル)を整理した。その後, 観測点ごとに, 標準化したサイト増幅特性を各主成分ベクトルの線形結合に分解し, 各主成分の係数値(主成分得点)を算定した。

得られた各主成分の寄与率を図2に示す。この寄与率が大きいくほど, 多くのサイト増幅特性に共通する特徴であることを表している。第1から第4主成分にかけて寄与率が急激に減少しており, それ以降の主成分の寄与率は徐々に減少して非常に小さくなっている。第1から第4主成分までの寄与率の合計は約80%に及ぶことから, 第1から第4主成分によって各観測点のサイト増幅特性を十分に表現できると考えられる。

主要な主成分である第1~第4主成分ベクトルを図3に示す。第1主成分ベクトルの結果を見ると周期 1.0 秒以下で大きな値を示している。第1主成分得点が正の場合にはサイト増幅特性が周期 1.0 秒以下で大きいことを表し, 負の場合には周期 1.0 秒以下で小さいことを表すことから, 第1主成分はサイト増幅特性の特に短周期帯に関する主成分であると考えられる。次に, 第2主成分は周期 0.2 秒以上の広い周期帯で大きな値を示していることから, サイト増幅特性の全体的な大小を表す主成分であると考えられる。第3, 第4主成分は, サイト増幅特性のピークを表現するような主成分である。

3. サイト増幅特性の主成分得点

得られた主成分ベクトルの物理的な意味を把握するため, 特に主要な主成分である第1, 第2主成分得点の分布を整理した結果を図4に示す。ここでは, 正の主成分得点を赤色で, 負の主成分得点を青色で示しており, 主成分得点の絶対値が大きいくほどプロットも大きく示している。

第1主成分得点を見ると, 関西以西で概ね正の値を示し, 関西以东で概ね負の値を示しており, 第1主成分には地域性が見られることが分かる。参考として, 地震動の伝播経路におけるQ値^{2),3),4)}を図5に示す。特に第1主成分が大きな値を示す周期1.0秒以下で, Q値は九州, 中国四国, 近畿地方で同程度となっており, 中部地方以东では大きな値を示している。このQ値は深部の地盤構造の情報を反映していると考えられることから, 第1主成分は特に深部地盤の地域性を反映している可能性があると考えられる。

次に, 第2主成分を見ると, 関東平野や大阪平野などの平野部で概ね正の値を示しており, 長野周辺や平野部外縁の山岳部では概ね負の値を示していることが分かる。一般的に, 山岳部ほど地盤が良好であり地震基盤面が浅く, 平野部ほど地震基盤面が深いと考えられることから, 各観測点における地震基盤面の深度と第2主成分得点との関係を整理した(図6)。なお, 地震基盤面の深度は, J-SHIS⁵⁾に基づいて設定している。これを見ると, 主成分得点にばらつきはあるものの, 地震基盤面の深度と主成分得点には若干の相関性があることが確認できる。そのため,

キーワード 地震動, サイト増幅特性, 主成分分析, 地盤構造

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

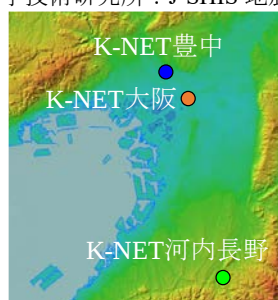
第2主成分は特に地点ごとの深部地盤を含む地盤構造や地形の情報を反映している可能性が高い。

4. まとめ

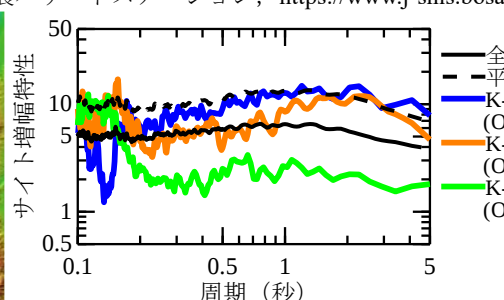
本検討では日本全国のサイト増幅特性を対象に主成分分析を実施した。その結果、主要な主成分は深部地盤の地域性や、各地点の深部地盤を含む地盤構造や地形の情報を反映しているような傾向が得られた。これらの結果を踏まえて、各観測点の緯度経度や深部・表層地盤等のパラメータにより、主成分得点を適切に表現することができれば、任意の地点のサイト増幅特性を推定できる可能性があると考えられる。今後の課題として、K-NET、KiK-net 観測点におけるサイト増幅特性だけでなく、より多くの地点の情報を整理すること、第1、第2主成分を良く説明できる具体的なパラメータを把握すること、第3以上の主成分についても物理的な意味を把握すること等が挙げられる。

参考文献

1) 野津ら：スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例，日本地震工学会論文集，Vol.7，No.2，pp.215-234，2007. 2) 加藤研一：K-NET 強震記録に基づく1997年鹿児島県北西部地震群の震源・伝播経路・地盤増幅特性評価，日本建築学会構造系論文集，No.543，pp.61-68，2001. 3) 佐藤智美，巽誉樹：全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性，日本建築学会構造系論文集，No.556，pp.15-24，2002. 4) Petukhin A. et al.: Estimation of Q-Values in the Seismogenic and Aseismic Layers in the Kinki Region, Japan, by Elimination of the Geometrical Spreading Effect Using Ray Approximation, *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.93, pp.1498-1515, 2003. 5) (国研) 防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション，<https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2023年3月閲覧)



(a) 各観測点の位置



(b) 各観測点のサイト増幅特性

図1 サイト増幅特性の評価例

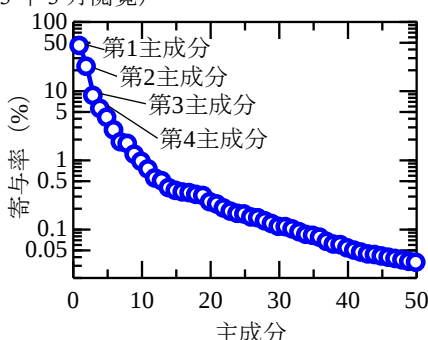


図2 各主成分の寄与率

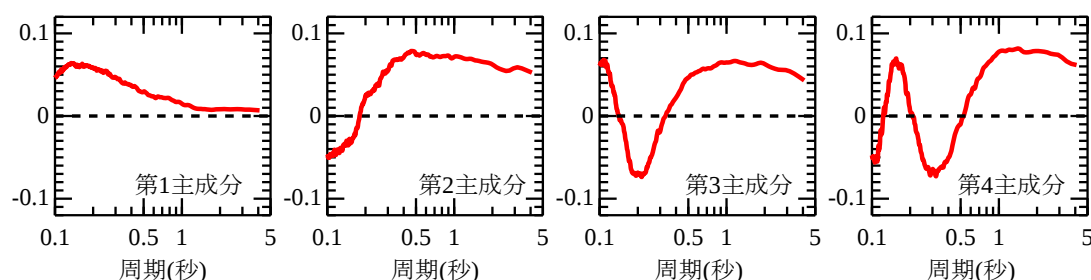
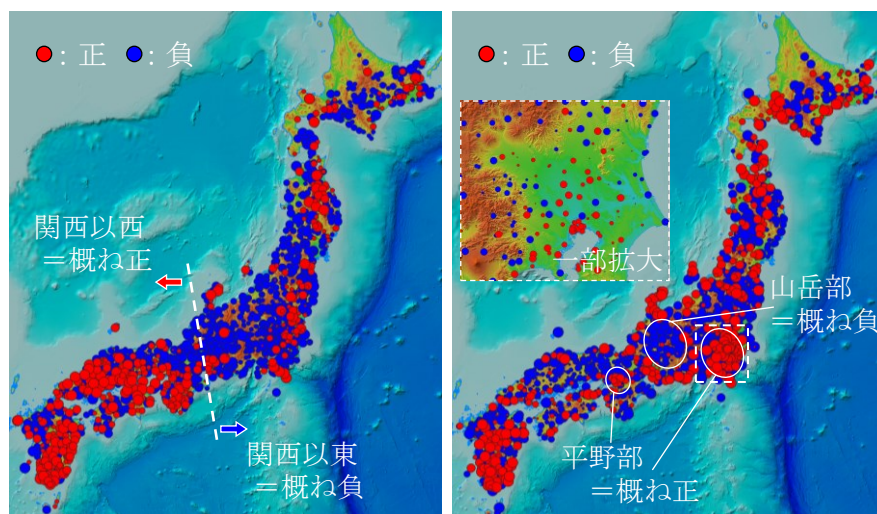


図3 主成分分析により得られた主要な主成分ベクトル



(a) 第1主成分得点

(b) 第2主成分得点

図4 第1、第2主成分得点の分布

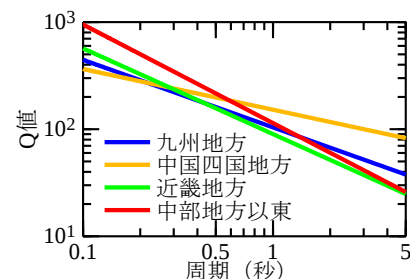


図5 地域ごとのQ値

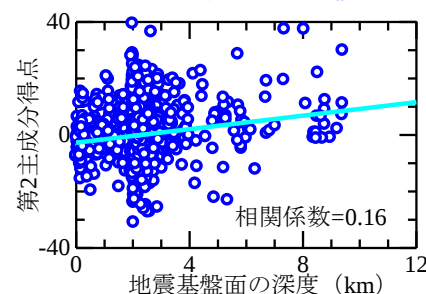


図6 第2主成分得点と地震基盤面深度の関係