

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420458

研究課題名(和文)地震動のサイト増幅特性の面的評価法に関する研究

研究課題名(英文)A study on the evaluation method of site amplification factors

研究代表者

長尾 毅 (NAGAO, Takashi)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：30356042

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地震動の評価において必要となるサイト増幅特性を任意の地点で解析的に求める手法の開発を目的とした。手法としては、3次元有限差分法を用いた地震動伝播解析により任意の地点のサイト増幅特性を評価する方法と、1次元の深層地盤構造情報を用いて任意の地点のサイト増幅特性を評価する方法の2種類の開発を行った。前者は京都盆地、御前崎半島等で検討を行い、近傍の地点の経験的サイト増幅特性を組み合わせることで対象地点のサイト増幅特性を精度良く評価できることを示した。後者はクリギング法等を用いて1次元構造の増幅特性を補正することで対象地点のサイト増幅特性を精度良く評価できることを示した。

研究成果の概要(英文)：It is difficult to evaluate site amplification factor analytically because site amplification factor is affected by several factors such as three dimensional deep subsurface profile. Therefore, site amplification factors have been evaluated by spectral inversion using strong motion records and those at sites without strong motion observation records have not been evaluated precisely. In this study, evaluation methods of site amplification factors were established. One method employs three dimensional finite difference analysis results and empirical site amplification factors. Another method estimates site amplification factors by modifying the amplification factors assuming horizontally layered deep subsurface profile at the site of interest by using the kriging method and regression equations in terms of peak frequencies of the amplification factors.

研究分野：地震工学

キーワード：設計地震動 サイト増幅特性 強震動シミュレーション 差分法 クリギング法 地震応答解析

1. 研究開始当初の背景

地震動の評価においては震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性を考慮することが必要である。このうち前2特性については、地域特性も踏まえたモデル化の方法が確立されている。しかしながらサイト増幅特性は深層地盤の3次元構造等の影響を受けるためこれまで解析的に求められてこなかった。これまで研究代表者らは強震観測記録を基にした解析を行い、全国の強震観測地点のサイト増幅特性を公開している。さらに強震観測地点のサイト増幅特性と常時微動観測記録等を用いて近傍の単点のサイト増幅特性を推定する方法も提案している。この方法は常時微動 H/V スペクトル(水平成分と鉛直成分のスペクトル比)において1次のピークが明瞭な場合に、サイト増幅特性の1次のピーク周波数とピーク振幅を精度良く補正すること等を主眼とした方法である。これらの手法は、強震動発生時の被害原因の分析に必要な地震波形の推定などに広く用いられるに至っている。ただし、サイト増幅特性のピークが明瞭でない地点へこの手法を適用することは困難である。

設計実務としては、港湾の技術基準においては設計地震動の設定においてサイト増幅特性を反映することとされているが、他の基準類では未だ既往最大地震動を参照して設定されていることが多く、サイト増幅特性を合理的に考慮するに至っていない。構造物の安全性照査は精緻な設計計算が行われたとしても、入力地震動が合理的なものでなければ、合理的な設計結果が得られているとは必ずしもいえない。

2. 研究の目的

サイト増幅特性を解析的に求める試みとして、研究代表者らは釧路平野・大阪平野、鬼首地区等を対象に2次元 FEM 解析によりサイト増幅特性を評価し、強震観測記録により得られたサイト増幅特性との比較を行っている。その結果として、地震基盤に至る深層地盤構造と地震動の入射角等を適切に考慮することが出来れば、サイト増幅特性の特徴を概ね捉えられる可能性が示された。しかしながら、解析により得られたサイト増幅特性の増幅倍率や包絡形状は強震記録より求めたサイト増幅特性との若干の乖離が認められ、深層地盤条件が既知であればサイト増幅特性を解析的に求められる段階には至っていない。

以上の背景のもと、単なる研究レベルではなく設計実務への導入促進を目指して、3次元的地盤構造の影響を反映したサイト増幅特性の解析的評価や深層地盤構造の変化に伴うサイト増幅特性の変化のモデル化等を行うことにより、全国レベルでサイト増幅特性を面的に評価する手法を開発することとなった。

3. 研究の方法

本研究の内容は大きく3つの柱により構成される。1)サイト増幅特性のゾーニング、2)サイト増幅特性の面的評価法の開発、サイト増幅特性の評価精度の定量的評価である。1)は深層地盤構造の調査と既知のサイト増幅特性の精査により実施する。2)は3次元地盤構造を対象とした解析によるサイト増幅特性の再現解析と実際のサイト増幅特性の比較検討を通して評価法の開発を行う。さらに、常時微動観測記録が得られた場合の補正方法を実際の観測記録データを用いることにより開発する。3)は地震記録によるサイト増幅特性と本研究の方法により推定されたサイト増幅特性を用いた強震動シミュレーションを行い、提案法の誤差を定量的に評価する。

4. 研究成果

日本全国をゾーン区分してサイト増幅特性を評価するよりも、深層地盤構造をモデル化した3次元地震応答解析や、地点ごとの深層地盤構造を用いて1次元の周波数伝達関数を地点ごとの特徴を反映した補正方法を用いて補正を行う方が精度良いサイト増幅特性の評価を行うことが可能であることが明らかとなった。このため本研究では、差分法を用いた地震動伝播解析により任意の地点のサイト増幅特性を評価する方法、1次元の深層地盤構造情報を用いて任意の地点のサイト増幅特性を評価する方法の2種類の手法の開発を行った。

まず3次元有限差分法を用いて任意の地点のサイト増幅特性を評価する方法については、京都盆地、大阪平野、御前崎半島などを対象にした検討を行った。

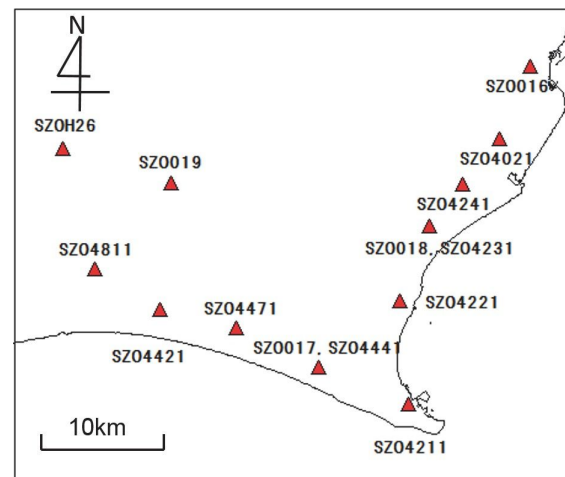


図-1 御前崎周辺

以下では御前崎周辺の検討結果を示す。図-1は検討対象領域で、が地震観測地点であり、サイト増幅特性が求められている。

図-2に示すように対象エリアを東西45km、南北45km、深さ45kmまで切り出してモデル化を行い、3次元有限差分法による増幅特性

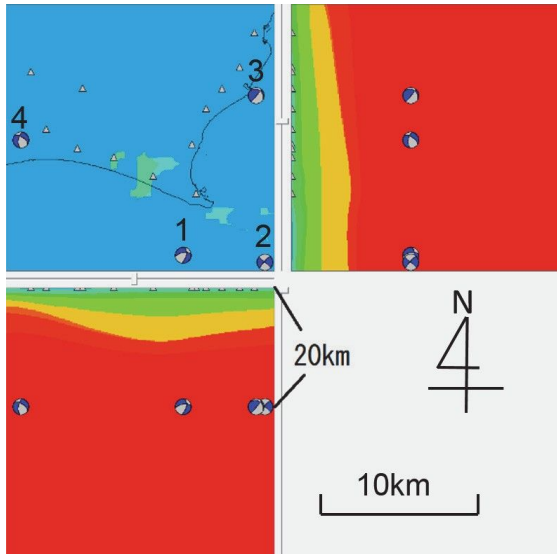


図-2 差分法モデル

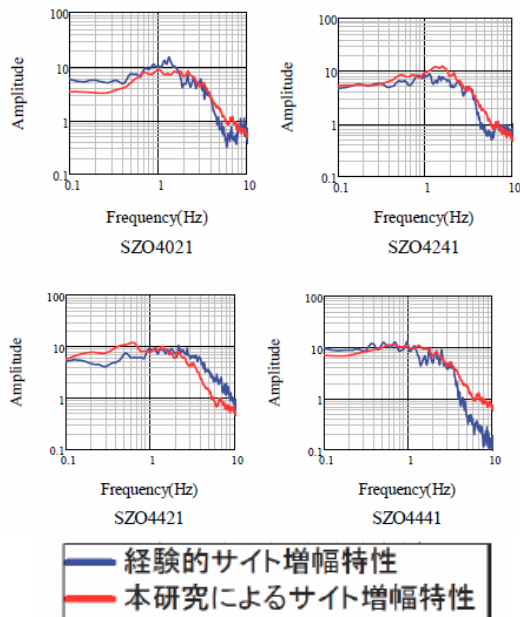


図-3 サイト増幅特性推定精度

の検討を行った。低周波領域では差分法と近傍のサイトの既知のサイト増幅特性を用いて対象地点のサイト増幅特性を推定し、高周波領域では微地形分類を用いて対象地点のサイト増幅特性評価した結果、地震記録を用いた経験的サイト増幅特性が明瞭なピークを有しない地点においてはサイト増幅特性を精度よく評価することができた。ただしサイト増幅特性を再現できなかった地点も存在したことから地盤構造の精度確認等、今後検討が必要である。

高周波数帯域におけるサイト増幅特性を評価する手法として、微地形区分を用いたグルーピングによる手法を提案した。微地形分類から想定されるサイト増幅特性とは異なる特徴を有する地点を除いては、概ね良い精度で評価できることがわかった。

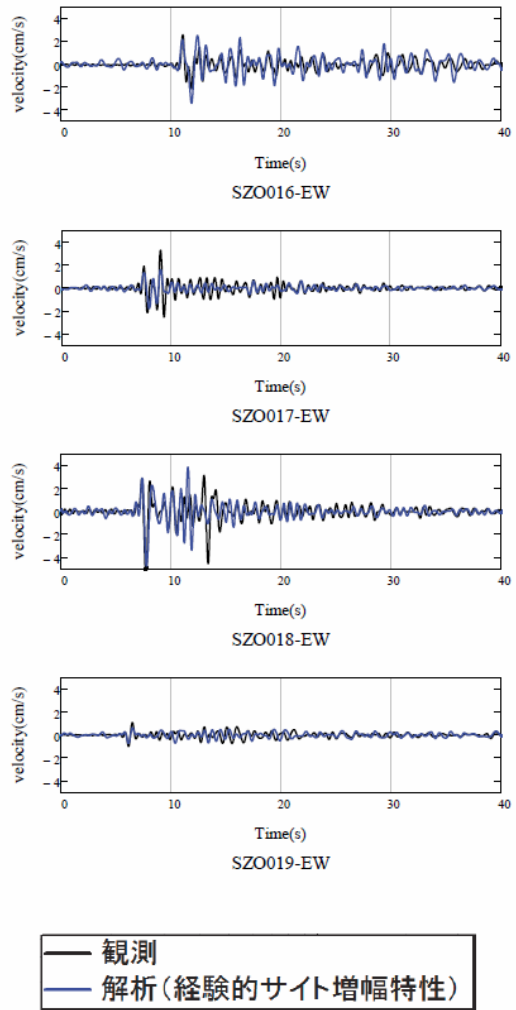


図-4 強震動シミュレーション結果

図-3 にサイト増幅特性の推定精度の例を示した。次に、提案した手法によるサイト増幅特性の適用性について強震動シミュレーションを用いて検討を行った。地盤構造の精度に問題があると考えられ、サイト増幅特性の評価誤差が大きい地点を除くと、図-4 に例を示すように、本研究によって評価されたサイト増幅特性は PGV、速度の PSI 値の比較から実用的に十分な精度であることが分かった。

このほか、京都盆地などを対象とした検討においても、概ね解析的にサイト増幅特性を精度良く評価できるサイトが多いことが分かった。

ただし、3次元有限差分法による解析は、設計実務で標準的な手法として位置付けるには解析負荷の観点で課題があると考えられる。そこで、深層地盤構造をもとに、1次元の1次元の周波数伝達関数を算出し、これと近傍の強震観測地点におけるサイト増幅特性の情報を用いたクリギング法などにより任意の地点のサイト増幅特性を評価する手法を検討した。検討対象は西日本地方の強震観測点とした。

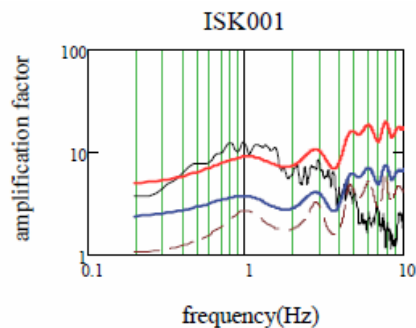


図-5 サイト増幅特性評価の例

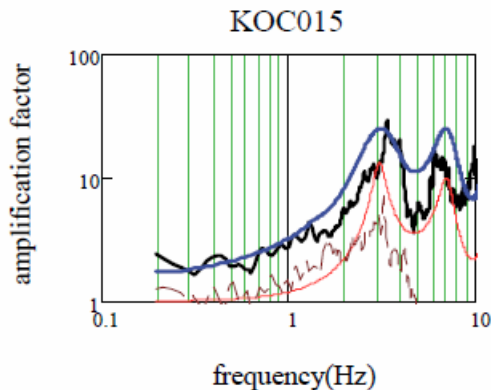


図-6 常時微動を用いたサイト増幅特性の評価

図-5 はサイト増幅特性の評価の例である。黒実線が経験的サイト増幅特性であり評価対象である。まず茶色の破線は1次元の周波数伝達関数であり、サイト増幅特性と比較して増幅倍率を低く評価するために増幅特性の評価法として用いることはできない。青線は周波数伝達関数の1次のピーク周波数をもとに統計分析により周波数伝達関数を補正して求めたサイト増幅特性であり、経験的サイト増幅特性と比較して過小評価している。赤線がクリギング法を用いたサイト増幅特性であり、高周波領域では過大評価しているものの、工学的に重要な4 Hz以下の領域では精度良くサイト増幅特性を評価できることが分かる。検討対象とした中部・北陸、中国・四国地方の何れについても、クリギング法が精度良くサイト増幅特性を推定できる地点が多かった。ただし、増幅倍率が近隣の強震観測点と比較して大きく変化する地点ではクリギング法では推定精度が悪く、更に検討が必要と考えられる。

次に深層地盤情報に誤差が含まれている地点について、常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数より周波数伝達関数を補正したうえで簡易評価法を適用することで、多くの地点でサイト増幅特性の推定精度が向上することが分かった。図-6に示す例のうち、青線が最終的に評価されたサイト増幅特性で

あり、黒実線の経験的サイト増幅特性を精度良く評価できていることが分かる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

長尾 毅, 加納高士, 伊藤佳洋, 山田雅行: 深層地盤構造を用いた近畿地方のサイト増幅特性の簡易評価法に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, p. 1_188-1_198, 2016.

出口拓磨, 長尾 毅, 山田雅行, 伊藤佳洋: 高密度強震観測エリアにおけるサイト増幅特性の解析的評価法に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, p. 1_199-1_212, 2016.

長尾 毅, 香川耀平, 山田雅行, 伊藤佳洋: 有限差分法を用いた京都盆地におけるサイト増幅特性の評価法に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, p. 1_317-1_330, 2016.

山田雅行, 伊藤佳洋, 長尾 毅, 野津 厚, 長坂陽介, 大岩根 尚: 薩摩硫黄島における低周波数のピークを有するサイト増幅特性の要因分析, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, p. 1_691-1_699, 2016.

長尾 毅, 福田 健, 伊藤佳洋: クリギング法を用いた中部・西部日本のサイト増幅特性の簡易評価法に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 掲載決定, 2017

〔学会発表〕(計 9 件)

福田 健, 長尾 毅, 伊藤佳洋, 山田雅行: クリギング法を用いた近畿地方に関するサイト増幅特性の簡易評価法, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長尾 毅 (NAGAO Takashi)

神戸大学 都市安全研究センター 教授
研究者番号: 30356042

(2) 研究分担者

野津 厚 (NOZU Atsushi)

海上・港湾・航空技術研究所 領域長
研究者番号: 60371770

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

山田雅行 (YAMADA Masayuki)

株式会社ニュージェック