

地盤震動理論に基づいたパラメータ群による地震動増幅特性の高精度評価法

京都大学 学生員 ○林 穂高
 京都大学 正会員 後藤 浩之
 京都大学 正会員 澤田 純男

1. はじめに

表層地盤による地震動の増幅は、狭い範囲でも顕著な被害の差を生むことがあり、精度良く評価することが求められる。ハザードマップで公表されている地盤増幅特性は、深さ 30m までの平均 S 波速度 (V_{s30}) を利用して評価されている。 V_{s30} を求めるためには深さ 30m までの S 波速度の情報が必要であり、ボーリング情報を用いることを基本とする。しかし、これを面的に実施することは経済的でないため、微地形区分に基づいた経験式によって推定されている。

地表で簡単に観測できるパラメータを用いれば、コストがかからず経験式に頼る必要もない。また、増幅特性を評価する際は、地盤震動理論に基づくパラメータを用いることが望ましい。そこで、本研究は、地表で観測可能なパラメータを用いて理論的に地震動増幅特性を評価する方法論を検討した。

2. Rayleigh 波位相速度と地盤の卓越周波数を利用した増幅特性の評価

本研究では、地表で観測可能である Rayleigh 波位相速度と地盤の卓越周波数をパラメータとして、増幅特性を評価することを試みた。まず、卓越周波数における伝達関数の値を表すことを目指し、Rayleigh 波位相速度と伝達関数のピーク値との関係を調べた。10 層系地盤モデルと 2 層系地盤モデルを乱数により作成し、Rayleigh 波位相速度と伝達関数を計算した。0.01Hz における位相速度と 20Hz における位相速度との比を位相速度比とし、伝達関数のピーク値との関係を図 1 に示す。

図 1 から、Rayleigh 波位相速度比と伝達関数のピーク値との間には相関があることが分かる。また、10 層系と 2 層系で似た傾向の相関であることも読み取れる。このことから、多層系地盤の伝達関数を 2 層系地盤の伝達関数でモデル化できる可能性がある。また、2 層系伝達関数のピーク値が S 波インピーダンス比の逆数であることが理論的に示されるので、S 波インピーダンス比は Rayleigh 波位相速度比からモデル化できる可能性がある。

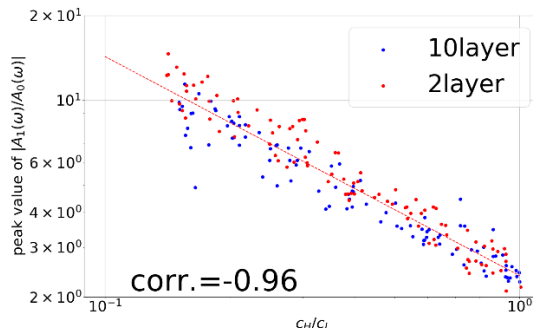


図-1 Rayleigh 波位相速度比と伝達関数のピーク値との関係

3. 2 層系地盤伝達関数による増幅特性の表現

Goto(2014)¹⁾は多層系地盤伝達関数を 2 層系地盤伝達関数の線形和で表現できることを数学的に示している。本研究はこの理論を踏まえ、増幅特性を 2 層系地盤伝達関数で表現することを考える。

2 層系地盤伝達関数を定めるために必要なパラメータは S 波インピーダンス比と卓越周波数と減衰である。S 波インピーダンス比は Rayleigh 波位相速度比を用いてモデル化する。ただし、表層と基盤の密度比とポアソン比を仮定する必要がある。卓越周波数は、常時微動観測から得られる H/V スペクトル比の最大ピークを与える周波数を用いることとする。

この評価法の妥当性を数値解析により検証した。10 層系の地盤モデルを乱数により 3000 モデル作成する。基盤からの入射波は、短周期成分を多く含む TypeA、長周期成分を多く含む TypeC の 2 種類の波とする。地盤モデルから計算した 10 層系地盤の伝達関数に基盤入射波を通したものを地表波形の真値とした。

キーワード 地震動増幅特性, 伝達関数, Rayleigh 波位相速度, 卓越周波数

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所耐震基礎研究室 TEL0774-38-3348

2層系地盤伝達関数は、地盤モデルから計算した Rayleigh 波位相速度と Rayleigh 波の楕円率 (H/V スペクトル比) からモデル化した。2層系地盤伝達関数に基盤入射波を通して得た値を、提案手法に基づいて評価した値とする。増幅特性は PGA, PGV について地表と基盤との比をとるものとする。比較として、Morikawa and Fujiwara(2013)²⁾ の Vs30 を用いる評価式に基づいて求めた増幅特性を既存の手法に基づいて評価した値とした。評価した増幅特性と真値との関係を表 1、表 2 に示す。

各図は横軸に各手法で評価した値を、縦軸に真値を示している。既存の評価法は PGA 増幅度でばらつきが大きくなる場合があるのに対し、提案手法はいずれの場合も精度よく評価できていると言える。

4. 観測に基づく増幅特性評価法の検証

本研究では近畿圏の K-NET, KiK-net のうち 7 観測点において微動アレー観測を実施した。観測結果から Rayleigh 波位相速度と H/V スペクトル比を求め、2層系地盤伝達関数をモデル化した。地表での地震動観測記録から求めた PGA, PGV の値と距離減衰式から求めた基盤での値との比を増幅特性の参照値とした。基盤での加速度応答スペクトルに対して適合波を作成し、2層系地盤伝達関数をかけて求めた値と、距離減衰式から求めた基盤での値との比を、提案手法に基づいて評価した増幅特性とした。既存の手法として、Vs30 を用いた評価法も、数値解析の場合と同様に検証した。各手法により評価した増幅特性と参照値との関係を表 3 に示す。

検証した結果、いずれの評価法もばらつきが大きかった。ばらつきが大きい原因として、基盤の評価に用いた距離減衰式の影響があると考えられる。提案手法は既存の手法に比べると相関係数が大きな値となっている。これは、提案手法が地盤の卓越周波数を考慮しており、入力波の周波数成分の違いによる増幅特性の変化を表現できるためであると考えられる。

5. まとめ

本研究は 2層系地盤伝達関数に基づく評価法を提案し、検証を行った。数値解析に基づいて検証したところ、提案手法は増幅特性を精度よく評価できた。観測に基づいて検証したところ、既存の手法に比べ、提案手法は精度よく評価できる可能性があるが、ばらつきが大きいため更なる検証が必要である。

謝辞

本研究は防災科学技術研究所強震観測網の地震観測記録を利用致しました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) Goto, H.: Series expansion of complex ground amplifications with a sequence of simple transfer functions. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, Vol. 43, pp. 1975–1997, 2014.
- 2) Morikawa, N. and F. H.: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake. *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 5, pp. 878–888, 2013.

表-1 評価した PGA 増幅度と真値との関係

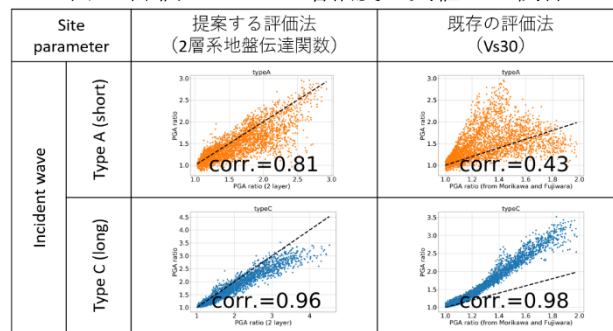


表-2 評価した PGV 増幅度と真値との関係

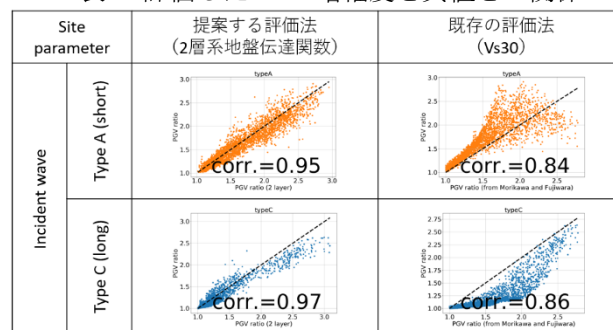


表-3 評価した増幅特性と参照値との関係

