

S波インピーダンスによる地盤増幅特性評価法の地震観測記録に基づく検証

京都大学 学生会員 ○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
 東電設計 正会員 新垣 芳一

1. はじめに

現在、自治体等では地盤による地震動の増幅を評価して、ハザードマップとして公表する施策が進められている。これらはボーリング情報を用いることを基本とするが、稠密な情報がない場合には微地形区分等の間接的な情報から地盤の物性を推定し、地盤増幅を評価するため精度が十分でない可能性が考えられる。

一般に地盤増幅の評価に用いられる物性の情報は、深さ 30m までの平均 S 波速度 (V_{s30}) であるが、これ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る。一方、近年では表層の S 波インピーダンスが地盤増幅と関連することが明らかにされつつある。Goto et al.(2011)¹⁾は NED の理論に基づき、地盤伝達関数の周波数平均が最表層の S 波インピーダンスのみに依ることを理論的に説明している。さらに、Goto et al.(2015)²⁾は、地盤最表層の S 波インピーダンスを原位置で非破壊検査する方法を提案している。このため、最表層の S 波インピーダンスは原位置で簡便に計測でき、かつその値で地盤増幅を適切に評価できる可能性が考えられる。

本研究は、実地盤の S 波インピーダンスやその他の地盤情報と地盤増幅との関係について論じるため、地震観測記録に基づいて地盤増幅との関係について考察した。

2. 対象データと解析手法

本研究では、地盤増幅(増幅度)を観測記録と距離減衰式により推定される値との比として定義する。PGA、PGV を対象とする際は司・翠川³⁾の距離減衰式、加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)を対象とする際は安中他⁴⁾の距離減衰式を用いた。1996 年 1 月から 2016 年 12 月の期間におけるマグニチュード 5.0 から 6.0 の地震について、震源がなるべく全国各地に分布するよう 100 イベントを選び、観測地点が偏らないよう配慮した。ただし、PGA、PGV の増幅を評価する際は震源深さが 20km 以下と 40km 以上のものを利用し、20km 以下のものを地殻内地震、40km 以上のものをプレート内地震に分類した。観測記録は防災科学技術研究所強震観測網(K-NET)の記録を利用し、距離減衰式の条件から PGA、PGV の場合は震源距離 100km 以下、応答スペクトルの場合は震源距離が 500km 以下の観測点の記録のみを用いた。公表されている 20m までの地盤データをもとに、20m までの平均 S 波速度(V_{s20})と最表層の S 波インピーダンスの値を観測点ごとに求めた。さらに、地盤の卓越周期との関係も論じるため、加速度時刻歴のコーダ波区間の水平/上下スペクトル比のピーク周期を地盤の卓越周期 T_g として定義した。

3. 地盤パラメータと増幅度

最表層の S 波インピーダンス、 V_{s20} と PGA 比との関係を図 1 に、PGV 比との関係を図 2 に示す。PGA に関しては、 V_{s20} との相関係数が 0.10、最表層の S 波インピーダンスとの相関係数が 0.24 であり、最表層の S 波インピーダンスの方が相関は高い。一方、PGV に関しては V_{s20} との相関係数が 0.32、最表層の S 波インピーダンスとの相関係数は 0.26 である。この結果から PGA の増幅については最表層の S 波インピーダンスは V_{s20} と同程度以上の性能を持つといえる。

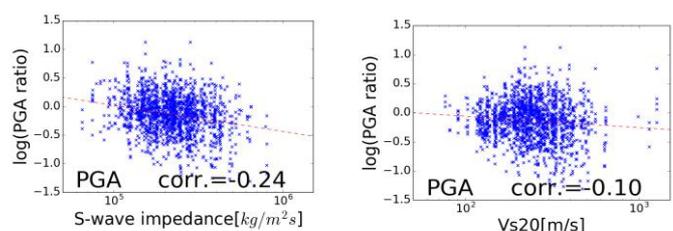


図 1 S 波インピーダンス、 V_{s20} と PGA 比との関係

キーワード 地盤増幅特性, S 波インピーダンス, 平均 S 波速度, 卓越周期, 地震観測記録

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所

TEL 0774-38-4069

次に加速度応答スペクトル比との関係を調べる。最初に周期成分ごとに平均値を評価したところ、短周期側と長周期側では最表層の S 波インピーダンス、Vs20 とスペクトル比の関係が異なる傾向にある。

短周期側の傾向を統一的に整理するため、周期 0.1 秒から 0.5 秒までの加速度応答スペクトルの平均値 Fa の増幅と表層の S 波インピーダンス、Vs20 との関係を示したものを図 3 に示す。Vs20 では相関係数 0.20、最表層の S 波インピーダンスでは相関係数 0.14 であり、ほぼ同等の性能であることがわかる。一方、長周期側では地盤の卓越周期 Tg と応答スペクトル比との間に関係性がみられる。周期が 1 秒、2 秒、3 秒、4 秒の応答スペクトル比と、Vs20 との相関を調べた。図 4 は周期 1 秒における Tg、Vs20 と応答スペクトル比との関係を示したもので、両者ともある程度の似た相関がみられる。表 1 は各周期での Tg、Vs20 と応答スペクトル比との相関係数を求めてまとめたものであるが、長周期側では Tg のみでも Vs20 とほぼ同等の性能を示すことがわかる。

以上の結果から、短周期において最表層の S 波インピーダンスは Vs20 と、長周期において卓越周期 Tg が Vs20 と同程度の性能が見込まれる。また、最表層の S 波インピーダンスも Tg も、非破壊で直接測定できることが重要である。今後は、異なるマグニチュードの地震記録を用いて評価を進め、また地盤の減衰による影響や強震時の地盤の非線形性について検討することが課題である。

謝辞

本研究の観測記録と地盤データは防災科学技術研究所強震観測網 (K-NET) で公開されているものを利用致しました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) Goto, H., Sawada, S. and Hirai, T.: Conserved quantity of elastic waves in multi-layered media: 2D SH case — Normalized Energy Density, *Wave Motion*, **48**(7), 603-613, 2011.
- 2) Goto, H., Tanaka, N., Sawada, S. and Inatani, H.: S-wave impedance measurements of the uppermost material in surface ground layers: vertical load excitation on a circular disk, *Soils and Foundations*, **55**(5), 1282-1292, 2015.
- 3) 司宏俊, 翠川三郎: 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, **523**, 63-70, 1999.
- 4) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹: 気象庁87型強震記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, **24**, 161-164, 1997.

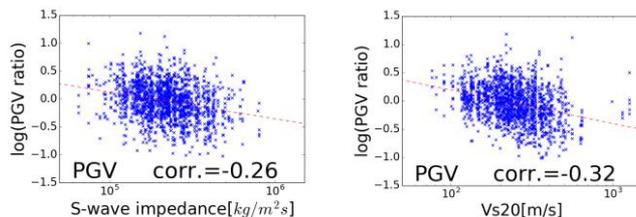


図 2 S 波インピーダンス、Vs20 と PGV 比との関係

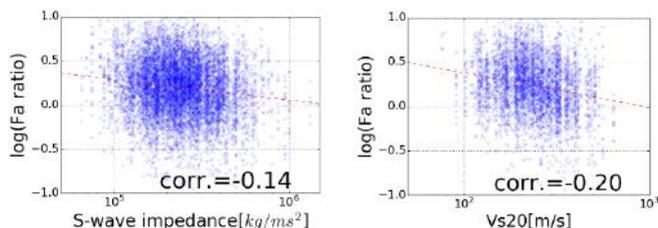


図 3 周期 0.1 秒から 0.5 秒における S 波インピーダンス、Vs20 と 0.1-0.5 秒応答スペクトル平均値の比との関係

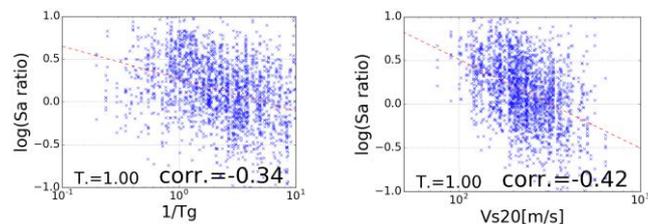


図 4 周期 1 秒における 1/Tg、Vs20 と応答スペクトル比との関係

表 1 周期毎の Tg、Vs20 と応答スペクトル比との相関係数

周期 T[s]	1.00	2.00	3.00	4.00
1/Tg	-0.34	-0.28	-0.22	-0.18
Vs20	-0.42	-0.35	-0.34	-0.34