

第 I 部門

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

京都大学工学部	学生員	○林	穂高
京都大学防災研究所	正会員	後藤	浩之
京都大学防災研究所	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度を評価して、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が基本であるが、稠密な情報がない場合には微地形区分から地盤の平均 S 波速度を推定し、そして平均 S 波速度から増幅度を推定するため、評価の精度が十分でない可能性が考えられる。

この問題に対し、平均 S 波速度に頼らずに最表層の S 波インピーダンスにより地盤増幅特性を表現するための研究がこれまで進められてきた。Goto et al.(2011)¹⁾は NED の理論に基づき、S 波インピーダンスと地盤増幅特性との関係を理論的に説明している。さらに、Goto et al.(2013)²⁾は基盤の S 波インピーダンスが既知であれば、地盤最表層の S 波インピーダンスを測定することで、地盤内部の減衰を直接推定できるとしている。そこで本研究では、観測点の地盤データと地震観測記録に基づいて、S 波インピーダンスやその他の指標と地盤増幅特性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、地盤による増幅度を観測記録と距離減衰式により推定される工学的基盤上の値との比として定義する。加速度応答スペクトル比(減衰定数 5%)を対象とするため、距離減衰式として安中他³⁾を用いた。対象とする地震は、1996 年 1 月から 2016 年 12 月までのマグニチュードが 5.0 から 6.0 の地震から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。観測記録は、S 波インピーダンスを求めるために必要な地盤の密度のデータが公表されている防災科学技術研究所強震観測網(K-NET)の記録を利用し、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

S 波インピーダンスと周期、応答スペクトル比の関係を調べる。まず S 波インピーダンスと周期成分をそれぞれ 8 つのグループに分割し、それぞれ応答スペクトル比の平均と標準偏差を求めることで、大まかな傾向を把握する。図 1 に整理した結果を示す。図中の丸印が各グループの平均を表し、上下に伸びる棒の長さが標準偏差を表している。短周期から長周期にかけて、概ね S 波インピーダンスが小さいと応答スペクトル比が大きくなる傾向が読み取れる。

比較として、 V_{s20} を用いた場合の結果を図 2 に示す。 T/T_g が 1 より大きい長周期側では、 V_{s20} の値が小さいほど応答スペクトル比が大きくなる傾向が読み取れるが、 T/T_g が 1 より小さい短周期側では V_{s20} と応答スペクトル比との相関はほぼ無いように見える。また、長周期側において、周期

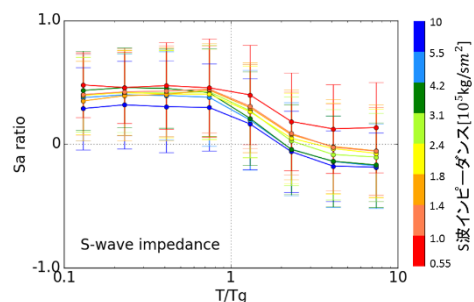


図 1 S 波インピーダンスのグループ毎に求めた応答スペクトル比と T/T_g の関係

が長くなるほど、応答スペクトル比が小さくなる傾向も読み取れる、以上のことから、短周期側と長周期側では、地盤パラメータとスペクトル比の関係が異なる傾向を読み取れた。

短周期側では S 波インピーダンス、 V_{s20} と応答スペクトル比との関係を調べる。周期が 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 F_a の増幅度と S 波インピーダンス、 V_{s20} との関係を示したものを図 3 に示す。 V_{s20} は相関係数 0.20 と十分な相関があるとは考えづらく、また最表層の S 波インピーダンスしか用いない場合にも 0.14 の相関係数であり、 V_{s20} とほぼ同等の性能であることがわかる。一方、長周期側では周期と応答スペクトル比との間に関係性がみられたので、周期が 1 秒、2 秒、3 秒、4 秒の応答スペクトル比と T_g 、 V_{s20} との相関を調べた。図 4 は周期 1 秒における T_g 、 V_{s20} 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相関がみられる。表 1 は各周期での T_g 、 V_{s20} 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 T_g のみでも V_{s20} とほぼ同等の性能を示すことがわかる。

以上の結果から、短周期においては増幅特性を推定するパラメータとして、最表層の S 波インピーダンスは V_{s20} と、長周期においては卓越周期 T_g が V_{s20} 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 T_g 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。

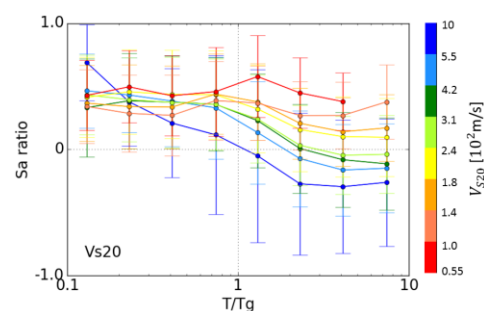


図 2 V_{s20} のグループ毎に求めた
応答スペクトル比と T/T_g の関係

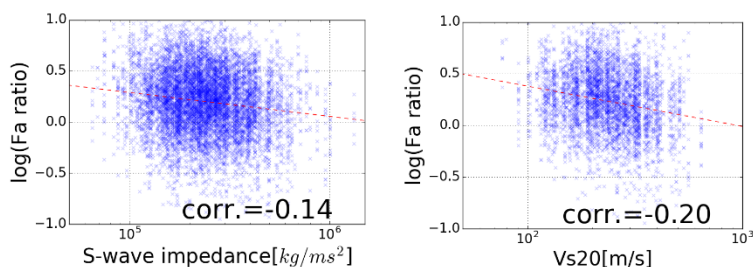


図 3 周期 0.1 秒から 0.5 秒における S 波インピーダンス、 V_{s20} と 0.1-0.5 秒応答スペクトル平均値の比との関係

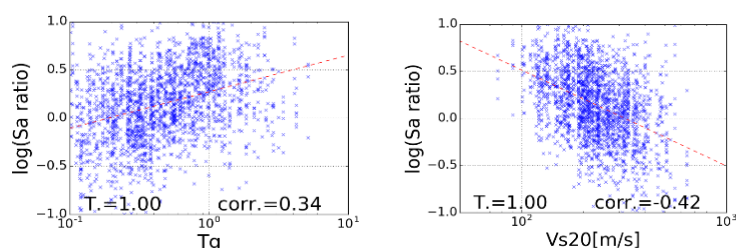


図 4 周期 1 秒における T_g 、 V_{s20} と応答スペクトル比との関係

表 1 周期毎の T_g 、 V_{s20} 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
卓越周期 T_g	0.34	0.28	0.22	0.18
V_{s20}	-0.42	-0.35	-0.34	-0.34

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., Kawamura, Y., Sawada, S. and Akazawa, T. : Direct estimation of near-surface damping based on normalized energy density, *Geophys. J. Int.*, **194**(1), 488-498, 2013.
- 3) 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.