

地盤増幅特性に寄与する地盤震動パラメータの検討

東電設計株式会社 正会員 ○新垣 芳一
 京都大学 正会員 澤田 純男
 京都大学 正会員 後藤 浩之

1. はじめに

地震動による被害は表層地盤の応答性状に大きく依存する。本研究では、強震時の地盤増幅特性に着目して、応答性状を適切に評価するための手法について理論的に検討することを目的とする。

現在、地盤増幅特性を評価する簡易な指標（以下、地盤震動パラメータ）が広く利用されているが、このうち表層地盤の深度 $d(m)$ までの平均 S 波速度 $AVS(d)$ がよく用いられる。例えば翠川ら（2008）は強震観測記録を基に、短周期寄りの増幅特性では深度 d が浅いほど、また長周期寄りの増幅特性では深度 d が深いほど $AVS(d)$ との相関が高くなることを示している。同時にマグニチュードが大きい地震（長周期成分が優勢な地震）ほど $AVS(d)$ と増幅特性の相関が高くなることも指摘している。

減衰のない弾性の水平多層構造において、基盤層とその上にある任意の対象層との上昇波の伝達関数の 2 乗の周波数に関する平均値に対象層のインピーダンスを掛けた量 NED は基盤層のインピーダンスと一致し、各層で保存される（Goto et al., 2011）。従って、基盤の解放面と地表面との伝達関数の 2 乗の周波数に関する平均値はインピーダンス比（表層第 1 層/基盤層） r_1 の逆数と一致する。また、Goto et al. (2013) は表層全体に寄与する減衰を定量的に評価するために、層厚と減衰定数の 2 倍の積に S 波速度を除いた量に関する表層全体の総和 t_s^* を導入し、これが基盤と表層第 1 層の NED に関する比と相関が高いことを示している。

2. 数値解析による検討方法

本研究ではモンテカルロ法により作成した 10,000 個の仮想 3 層地盤モデル（表層 2 層+基盤層）を対象に一次元重複反射理論による線形解析を実施し、地盤増幅特性と地盤震動パラメータの関係を統計的に検討した。密度、S 波速度、減衰定数はそれぞれ、基盤層では 2200kg/m^3 , 600m/s , 0 に固定し、表層 2 層では $1500\sim 2200\text{kg/m}^3$, $100\sim 600\text{m/s}$, $0.00\sim 0.05$ の幅を設けて乱数で設定した。基盤層までの深度も $10\sim 100\text{m}$ の幅を設けて乱数で設定した。乱数の発生条件は S 波速度を対数値の一様分布、他の地盤パラメータを一様分布とした。また深い層ほどインピーダンスが大きくなるようにした。地盤増幅特性は、Fig. 1 に示す周期特性が異なる 2 種類の基盤層上面への入力と重複反射理論より算定した地表面の応答との比率（以下、増幅率）で表し、ここでは最大加速度と最大速度を対象とした。地盤震動パラメータとしては、 $AVS(30)$, $AVS(10)$ および r_1 の 3 つに着目した。

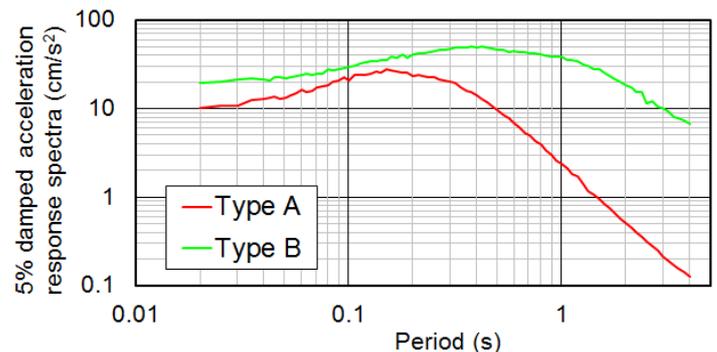


Fig. 1 Acceleration response spectra of incident waves

3. 数値解析結果および考察

地盤震動パラメータと最大加速度の増幅率との関係を Fig. 2 に、最大速度との関係を Fig. 3 に示す。各図では減衰の影響を見るために、 t_s^* の値によって点を色分けした。

短周期成分が優勢な入力（Type A）の場合、平均 S 波速度 $AVS(30)$ では値の小さい領域（＝軟弱地盤）において最大加速度と最大速度の増幅率の上限がモニタリングに減少しないが、深度 d を浅くした $AVS(10)$ ではその傾向は現れない。一方、長周期成分が大きい入力（Type B）の場合、 $AVS(30)$ と最大速度の増幅率の相関が

キーワード 地盤増幅特性, 地盤震動パラメータ, 平均 S 波速度, インピーダンス比

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計株式会社 TEL 03-6372-5621

最も高くなる。従って、AVS(d)は深度 d が浅いほど最大加速度のような短周期寄りの増幅率との相関が高く、反対に深いほど最大速度のような長周期寄りの増幅率との相関が高くなることから、AVS(d)を地盤震動パラメータとして扱う場合には、深度 d も制御する必要があると考えられる。また入力の高周波成分が小さくなると、AVS(d)と増幅率の相関が低くなると考えられる。これらの結果は翠川ら(2008)と一致するといえる。

インピーダンス比 r_1 では入力や増幅率の種類、すなわち周期の影響に関係なく、値が大きくなるにつれて増幅率の上限がモノトニックに減少し、 r_1 の2乗根に近い値に反比例する傾向を維持している。また、短周期成分が優勢な入力 (Type A) の場合における最大加速度の増幅率は材料減衰が大きく影響するためにその下限が1を下回るが、それ以外の条件における増幅率の下限は概ね1に一致する。従って、増幅率の下限は r_1 の値に依らず1を上回ることがないため、 r_1 は値の小さい領域 (= 軟弱地盤) において AVS(d)と比較すると増幅率の幅が大きい。しかし、 t_s^* の値によってはその幅を狭めることができる。 t_s^* はある程度小さくなると頭打ちになるものの、大きいほど r_1 に対応する増幅率の幅や上限値が減少する。 r_1 は上下方向の調和振動の加振速度と地盤反力との位相差に着目した後藤ら (2014) の方法などから第1層のインピーダンスを入手できれば基本的に評価が可能であるため、AVS(d)よりも地盤情報量が少なく済む利点もある。

参考文献

- 翠川三郎, 駒澤真人, 三浦弘之 (2008) : 横浜市高密度強震計ネットワークの記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度との関係, 日本地震地震工学会論文集, 第8巻, 第3号, pp.19-30.
- Goto, H., Kawamura, Y., Sawada, S. and Akazawa, T. (2013) : Direct estimation of near-surface damping based on normalized energy density, Geophys. J. Int., Vol.194, No.1, pp.488-498.
- Goto, H., Sawada, S. and Hirai, T. (2011) : Conserved quantity of elastic waves in multi-layered media: 2D SH case -Normalized Energy Density-, Wave Motion, Vol.48, No.7, pp.603-613.
- 後藤浩之, 田中伸明, 澤田純男, 稲谷栄巳 (2014) : 地盤最表層の S 波インピーダンス測定手法の開発, 平成 26 年度防災研究所研究発表会, A16.

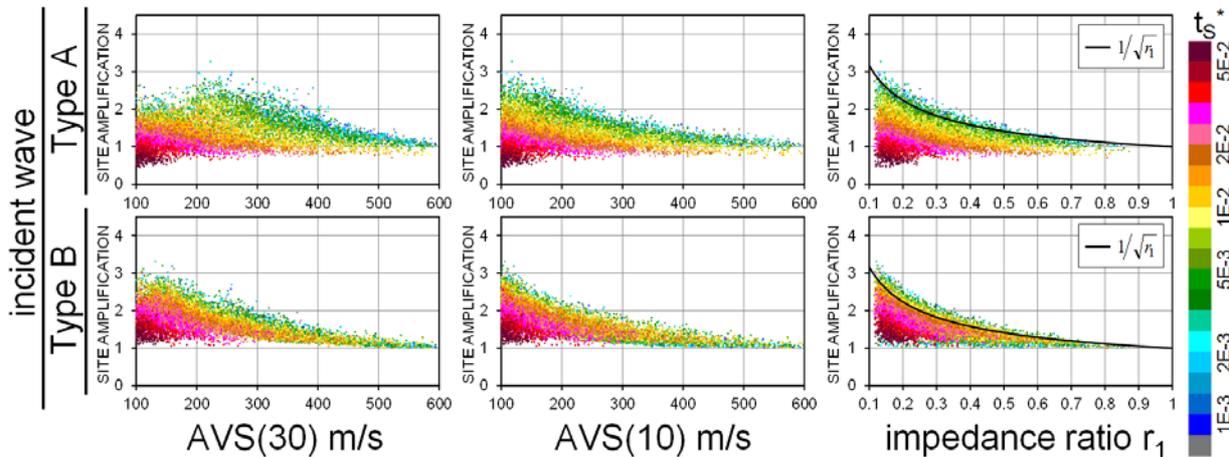


Fig. 2 Relationships between parameters for ground motions and site amplifications of maximum acceleration

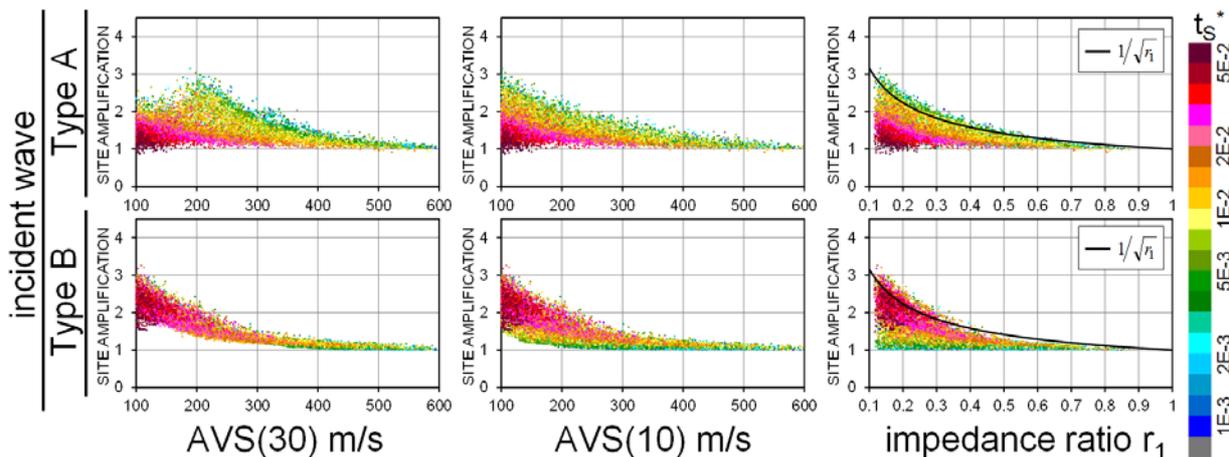


Fig. 3 Relationships between parameters for ground motions and site amplifications of maximum velocity