

## 応答スペクトル比の増幅率に寄与する地盤震動パラメータの検討 Study on Parameters for Ground Motions to Evaluate Site Amplifications of Response Spectra

○新垣芳一・澤田純男・後藤浩之

○Yoshikazu SHINGAKI, Sumio SAWADA, Hiroyuki GOTO

We estimated the relationship between a parameter for ground motions, e.g. average shear wave velocity AVS and impedance ratio (1st layer/basement)  $r_1$ , and a site amplification of response spectra for three-layered structures in a 2D SH problem by applying the Monte Carlo simulation method. When the short period is significant and AVS is small, the maximum of the site amplification does not decrease monotonically as AVS increases. The maximum is inversely proportional to the second root of  $r_1$  regardless of periods affecting the input and the site amplification. The range of the site amplifications corresponding to  $r_1$  can be narrowed by focusing on the total damping  $t_s^*$ .

### 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、中でも表層地盤の深度  $d$ (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表層第 1 層と

基盤層のインピーダンス比  $r_1$  に一致する。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、深度と減衰定数の 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）を対象に数値解析を実施し、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  $2200\text{kg/m}^3$ 、 $600\text{m/s}$ 、0 に固定し、表層 2 層では  $1500\sim 2200\text{ kg/m}^3$ 、 $100\sim 600\text{m/s}$ 、 $0.00\sim 0.05$  の区間を設けて乱数で設定した。基盤層までの深度は  $10\sim 100\text{m}$  の区間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、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 に示す卓越周期が異なる 2 つ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（以下、増幅率）で表し、減衰 5% の加速度応答スペクトルの短周期区間 ( $0.02\sim 0.4$  秒) と長周期区間 ( $0.4\sim 4$  秒) の幾何平均値を採用した。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。

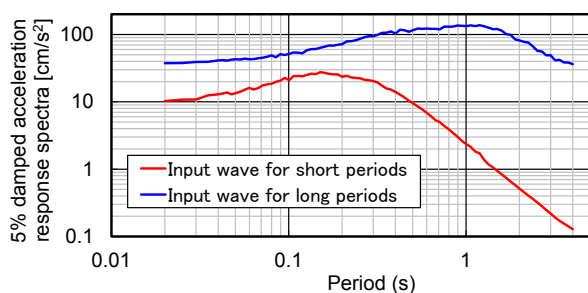


Fig. 1 Acceleration response spectra of input waves

### 3. 数値解析結果および考察

地盤震動パラメータと短周期区間の増幅率との

関係を Fig. 2 に、長周期区間の増幅率との関係を 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。

AVS(d) は深度  $d$  が浅いほど短周期区間の増幅率と、深いほど長周期区間の増幅率との相関が高くなり、また入力の高周波成分が優勢になるほど、AVS(d) と増幅率の相関が高くなる傾向が見られる。以上の傾向は翠川ら (2008) と一致する。

$r_1$  では入力や増幅率の周期特性に依らず、増幅率の上限が  $r_1$  の 2 乗根の逆数に漸近する傾向が見られる。一方、短周期成分が優勢な入力かつ短周期区間の増幅率のみ下限が 1 を下回るが、それ以外の下限は概ね 1 に収束する傾向が見られる。これは短周期ほど材料減衰の影響が大きくなるためだと考えられる。また、 $t_s^*$  が小さいほど  $r_1$  に対応する増幅率の上限値が増大するが、特定の値以下になると頭打ちになることも確認できる。

短周期を評価する場合、AVS(d) は小さい領域 (= 軟弱地盤) で値に対してモノトニックに増幅率の上限が減少しない傾向にある。この傾向は深度  $d$  を浅くすれば回避できるが、その代わりに長周期を評価する場合に増幅率との相関が低くなる。従っ

て、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。一方、 $r_1$  ではこの傾向が認められず、周期の影響に関係なく増幅率の上限は  $r_1$  の 2 乗根に反比例する傾向を維持している。 $r_1$  は AVS(d) と比較すると値に対する増幅率の幅が大きい。しかし、 $t_s^*$  の値によってその幅を狭めることができる。

#### 4. 参考文献リスト

- 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

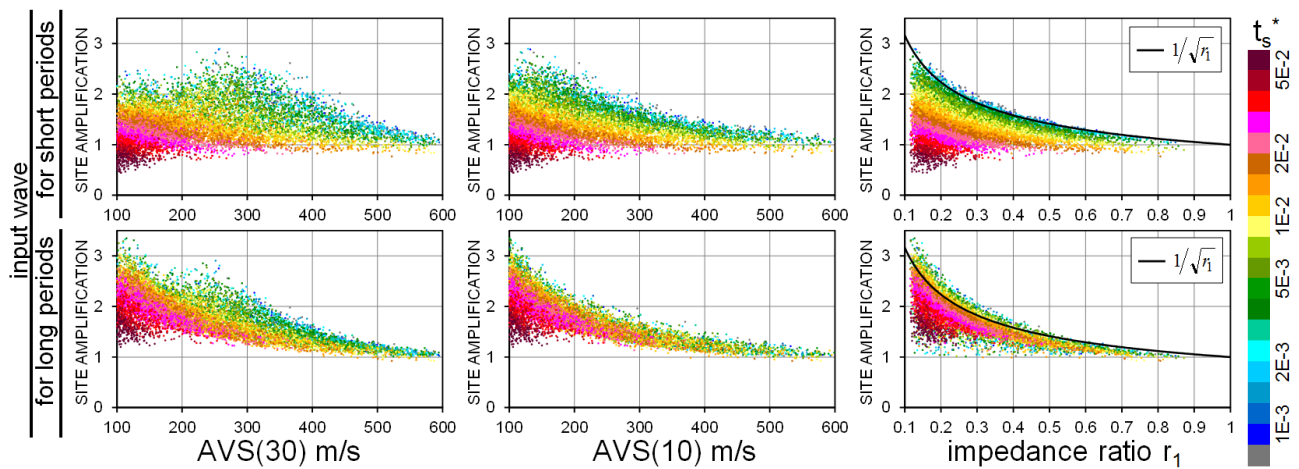


Fig. 2 Relationships between parameters for ground motions and site amplifications for short periods (0.02-0.4s)

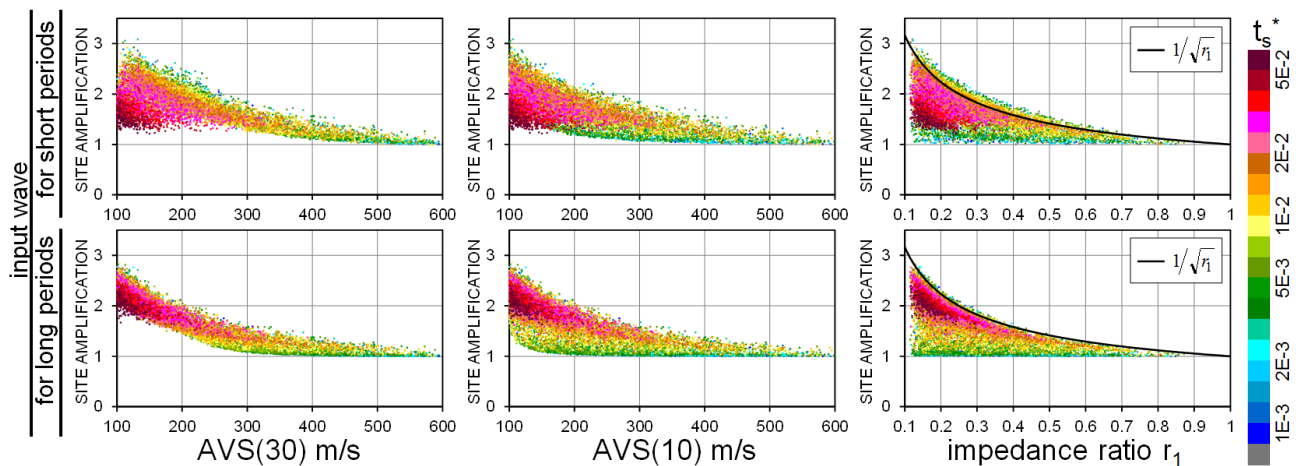


Fig. 3 Relationships between parameters for ground motions and site amplifications for long periods (0.4-4s)