

地盤と入力地震動の周期特性を考慮した表層地盤の地震増幅率の推定式の検証

ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 ○野上 雄太
 鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
 東京工業大学大学院 正会員 盛川 仁

1. はじめに

地震時の被害予測において、広範な地域の危険箇所を抽出する一次スクリーニングを目的として、著者らは地盤の1次固有周期 T_g だけでなく入力地震動の卓越周期 T_b も考慮した地震時の表層地盤(工学的基盤以浅)の増幅率の推定式を提案している¹⁾。本研究は、提案している推定式の妥当性を、実地震動記録と比較することで検証することを目的とする。

2. 提案している表層地盤の増幅率の推定式

著者らが提案している表層地盤の増幅率の推定式を式(1)～(4)に示す。

$$\left\{ \begin{matrix} Z_V \\ Z_A \end{matrix} \right\} = \sqrt{\frac{1 + 4h^2 \left\{ \alpha \left(T_g / T_b \right)^\beta \right\}^2}{1 - \left\{ \alpha \left(T_g / T_b \right)^\beta \right\}^2 + 4h^2 \left\{ \alpha \left(T_g / T_b \right)^\beta \right\}^2}} \quad (1)$$

$$\alpha = c_1 \cdot \left\{ \frac{PBV}{PBA} \right\} + c_2 \quad (2)$$

$$\beta = c_3 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-c_4 \cdot \left\{ \frac{PBV}{PBA} \right\} \right) \right\} + c_5 \quad (3)$$

$$h = c_6 \cdot \left\{ \frac{PBV^{c_7}}{PBA^{c_7}} \right\} \quad (4)$$

ここに、 Z_V は速度増幅率、 Z_A は加速度増幅率、 T_g は地盤の1次固有周期[s]、 T_b は入力波の卓越周期[s]、 PBV は入力波の最大速度[kine]、 PBA は入力波の最大加速度[gal]、 α 、 β 、 h 、 $c_1 \sim c_7$ は係数を示す。 $c_1 \sim c_7$ の数値は、速度増幅率に対して表1を、加速度増幅率

表1 速度増幅率に対する式(2)～(4)のパラメータ値

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
μ	0.0109	0.68	0.24	0.071	0.30	0.26	0.25
$\mu+1\sigma$	0.0053	0.76	0.14	0.088	0.24	0.21	0.23
$\mu+2\sigma$	0.0031	0.81	0.10	0.147	0.18	0.18	0.21

表2 加速度増幅率に対する式(2)～(4)のパラメータ値

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
μ	0.0026	0.85	0.52	0.003	0.26	0.12	0.31
$\mu+1\sigma$	0.0011	0.89	0.52	0.002	0.18	0.10	0.30
$\mu+2\sigma$	0.0006	0.91	0.33	0.002	0.14	0.10	0.24

(注)表中の μ は平均値、 σ は標準偏差を示す。

に対して表2を用いる。表1、2は、「平均値 μ 」、「平均値 μ +標準偏差 σ 」、「平均値 μ +2×標準偏差 σ 」の数値を示している。

3. 検証方法

増幅率の推定式の検証は、実地震動記録と推定結果を比較することで行なう。実地震動記録には、防災科学技術研究所のKiK-netの記録を用いた。検討手順を以下に示す。また、検討イメージ図を図1に示す。

- ①KiK-net 観測点の工学的基盤から表層までの固有周期を基に、様々な固有周期を有する観測点を選択する。検討に用いた観測点一覧を表3に示す。
- ②選択した観測点で得られた地震動記録(地表と地中の記録)を準備する。検討に用いた地震動記録一覧を表3に示す。
- ③地震計設置位置から工学的基盤までを観測点のボーリングデータを参考にして1次元にモデル化する。地震計位置から工学的基盤までは土が線形で挙動すると仮定する。
- ④地中の地震動記録を入力波とする1次元線形時刻歴解析を実施する。これは、本研究で対象としている表層地盤の増幅率が工学的基盤相当を基盤としており、KiK-netの地中地震計設置位置が工学的基盤よりも固い層のため、工学的基盤の地震動を推定する必要があるからである。
- ⑤上記④で得られた工学的基盤面の地震波と上記②で準備した地表の地震動記録を用いて、表層地盤の増幅率と周期比の関係を算定する。

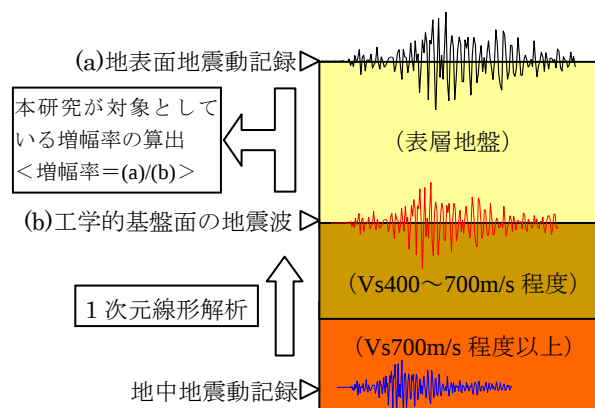


図1 検討方法のイメージ図

キーワード 表層地盤、増幅率、周期比

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 メトロポリタンプラザ 18F TEL 03-5396-7247

4. 検討結果

3章で示した方法により算定した地震動記録の増幅率と推定式から算出した増幅率を図2, 3に示す。各図(a)は、比較的小さな地震動を、各図(b)は検討した中で最も大きな地震動（以降、比較的大きな地震動）を例として描いている。また、図中には「平均値 μ +標準偏差 σ 」「平均値 $\mu+2\times$ 標準偏差 σ 」の推定値も併記している。地震動記録にはばらつきがあるため、増幅率を良好に推定している場合もあればそうでない場合もある。そこで、平均値と分布形について統計的検定を実施して妥当性を検証した。

検定手法は、データが少ないことを勘案してノンパラメトリック検定を採用した。具体的には、平均値に対して Wilcoxon 検定、分布形に対して Kolmogorov-Smirnov 検定を採用した。検定は、地震記録のプロットの範囲をある周期比帯で分割し、5%、10%有意確率を基準に行なった。5%有意確率を満足する場合は「○」、10%有意確率を満足する場合は「△」、いずれも満足しない場合は「×」として整理した。なお、判定が周期比帯毎に異なる場合もある。この場合には、有意確率を総合的に判断して判定している。判定結果を表4に示す。速度、加速度ともに平均値は推定値と地震記録が概ね整合している。一方、分布形については、比較的小さな地震(PBA=100gal, PBV=10kine)ではそれほど一致せず、比較的大きな地震(PBA=500gal, PBV=30kine)ではよく一致している。大きな地震動では、構造物の安全性に関わるため、分布形も重要である。しかし、比較的小さな地震動では、構造物が降伏に達しない程度の領域であるため分布形はそれほど問題にはならないことを勘案すると、本推定式は概ね精度よく推定できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、著者らが提案した地盤及び入力波の周期特性を考慮した表層地盤の地震時増幅率の推定式を、実地震記録を用いて検証した。その結果、平均値は地震の大小に関わらず概ね妥当な推定が可能であり、分布形が重要となる大きな地震では、妥当な結果を与えることが示された。なお、大地震の検証は、今後のデータの蓄積により検証する余地があると考えている。

謝辞：本研究は、防災科学技術研究所の KiK-net の記録を使用させていただきました。ここに記して謝意を表します。
参考文献：1)野上雄太，坂井公俊，室野剛隆：表層地盤と入力波の周期特性を考慮した増幅率の評価，第13回日本地震工学シンポジウム，2010。

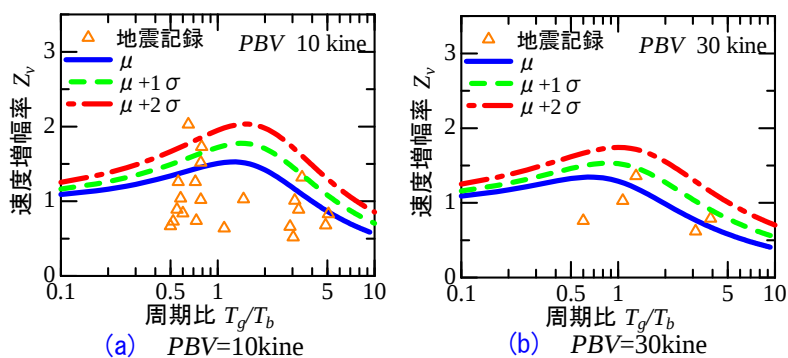


図2 速度増幅率 Z_v の推定値と地震記録の比較

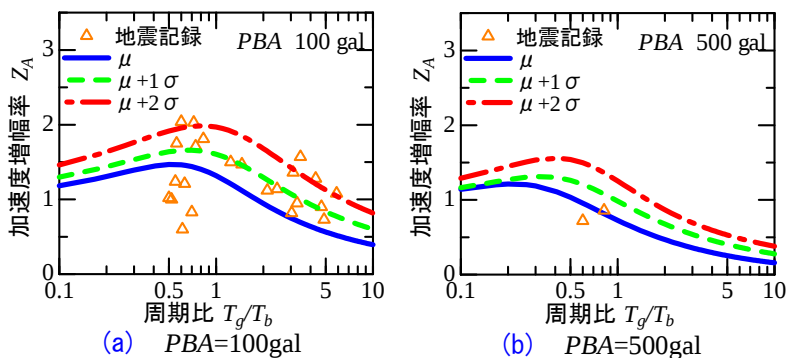


図3 加速度増幅率 Z_A の推定値と実測値の比較

表3 検討に用いた観測点と地震動記録一覧

観測点名	地震動諸元(年月日, マグニチュード, 震央距離)				
EHH02(西条)	2001/03/24	15:28	M6.4	53km	
HRSH01(三原)	2000/10/06	13:30	M7.3	105km	
IWTH02(玉山)	2001/03/24	15:28	M6.4	40km	
NIGH06(加茂)	2003/05/26	18:24	M7.0	116km	
NMRH04(別海東)	2003/02/04	13:35	M3.1	5km	
	2004/10/23	17:56	M6.8	44km	
	2004/10/23	18:03	M6.3	34km	
	2004/10/23	18:07	M5.7	38km	
	2004/10/23	18:12	M6.0	49km	
	2004/10/23	18:34	M6.5	40km	
	2004/10/25	06:05	M5.8	37km	
	2004/10/27	10:40	M6.1	40km	
	2004/11/08	11:16	M5.9	29km	
	2007/07/16	10:13	M6.8	42km	
SZOH42(修善寺)	2007/07/16	15:37	M5.8	41km	
	2010/05/01	18:20	M4.9	15km	
	2003/09/26	04:50	M8.0	199km	
	2004/04/12	03:06	M5.8	64km	
	2004/11/29	03:32	M7.1	52km	
SZOH42(修善寺)	2004/12/06	23:15	M6.9	64km	
	2005/01/18	23:09	M6.4	59km	
	2005/09/21	11:25	M6.0	109km	
	2006/04/21	02:50	M5.8	26km	
SZOH42(修善寺)	2006/05/02	18:24	M5.1	39km	
	2009/08/11	05:07	M6.5	43km	

表4 検定の判定結果

	Z_A		Z_v	
入力の大きさ	100gal	500gal	10kine	30kine
平均値の判定	○	○	△	○
分布形の判定	△	○	△	○