

表層地盤の強度と入力地震動最大値を考慮した 各種地震動指標の地震増幅率の高度化

杉浦 翔太¹・野上 雄太²・丹羽 健友³・田中 浩平⁴・坂井 公俊⁵

¹正会員 JR 東日本コンサルタンツ (〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1)

E-mail: s-sugiura@jrc.jregroup.ne.jp

²正会員 JR 東日本コンサルタンツ (〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1)

E-mail: nogami@jrc.jregroup.ne.jp

³正会員 元・鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

⁴正会員 鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: tanaka.kohei.22@rtri.or.jp

⁵正会員 鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail: sakai.kimitoshi.36@rtri.or.jp

本検討では、表層地盤の固有周期と入力地震動の卓越周期の比、地震動の最大値と表層地盤の強度（地盤強度比 K_f ）の比をパラメータとした地震増幅率の簡易評価法を提案した。この時に対象とする地震動指標としては、地震被害に関連があると考えられる3つの指標（警報用最大加速度、計測震度、SI値）とした。提案法では、周期比を考慮することで地震動と地盤の共振、非共振を考慮しているとともに、強度の比を考慮することで地盤の非線形程度の大小も直接考慮している。そのため、これらの情報を無視した場合と比較して評価結果のばらつきを低減を実現しており、精度の高い地震増幅率の評価が可能である。

Key Words: *site amplification, shear strength of surface ground, natural period, predominant period of input wave on engineering-bedrock*

1. はじめに

広範囲の地表面地震動の面的な分布を簡易かつ即時的に推定することは、地震防災上重要である。こうした中で、地震動分布を簡易に評価する手法として、表層地盤の地震増幅率の評価法が数多く提案^(例えば 1)-10)されており、地震発生直後の地表面地震動の空間分布推定や各種施設の即時被害予測等に活用されている^(例えば 11)-16)。

筆者らも過去に地震増幅率の評価手法を提案⁹⁾しているが、この手法では従来からの一般的な地震増幅率の評価法で使用されている基盤位置での地震動最大値や表層地盤の固有周期 T_g に加えて、入力地震動の卓越周期 T_b を考慮しているという特徴がある。この方法では、地盤と地震動の共振、非共振という現象を陽な形で考慮することが可能であるため、地盤の固有周期 T_g のみを用いて地震増幅率を推定した場合よりも、高精度の地震増幅率評価が可能であることを確認している。さらに、上記手法で使用している地震動の最大値に代わって、地盤全体の強度に関する指標（地盤強度比 K_f ¹⁷⁾）と入力地震動

の最大加速度 PBA の比 ρ を指標とすることで、地震動の大きさと地盤の強度の大きさの関係を直接的に考慮した増幅率の評価が可能となり、幅広い地震動レベルに対してさらに推定精度が向上することを確認している¹⁰⁾。

この時に、これら地震増幅率の評価^{9,10)}は、地表面地震動の最大加速度 PGA と最大速度 PGV の2指標において実施している。一方で、地震発生直後の鉄道の点検要否の判断は、計測震度や SI 値といった、構造物の被害とある程度の相関を有すると考えられている指標が用いられることが多い^(例えば 18)。そのため、上述した手法に基づいて地表面地震動の分布を評価した場合には、得られた最大加速度 PGA 、最大速度 PGV から各指標への換算を行う必要があった¹⁶⁾。また、計測震度や SI 値に対しても周期の比率や強度の比率を考慮することで、各種増幅率の推定精度が向上する可能性もあるが、これら指標に対する手法の有効性は現時点で確認されていない。

そこで本検討では、最大加速度および最大速度以外の各種施設の健全度判定等に一般的に用いられる地震動指標を対象として、地震増幅率の簡易かつ精度の高い推定

手法を構築することを目的とする。この時には、選定した各指標に対して、上述した2つの手法（周期比を考慮した手法、周期比に加えて強度比も考慮した手法）に基づく地震増幅率の推定法を構築する。さらに、構築した各手法による地表面地震動の推定精度を比較することで、地震増幅率の評価に地盤強度比 K_f を考慮することの有効性について検討を行う。なお、今回対象とする指標は、地震後の構造物の点検の要否判断にも使用されることのある、警報用最大加速度、計測震度、SI 値の3つとした。ここで、警報用加速度とは、地震発生時の列車運転規制等に用いられる指標¹⁹⁾であり、加速度波形に対して5Hz以降の高周波成分を低減させるフィルター処理を施した加速度である。

なお、以降の検討では、地震動の最大値と周期比 T_g/T_b を考慮した増幅率の評価法を手法①、周期比 T_g/T_b に地震動の最大値と地盤強度比 K_f の比率 ρ を考慮した増幅率の評価法を手法②と呼ぶこととする。

2. 多数の地盤応答解析に基づく地震増幅率の評価

(1) 解析条件

本検討では、多数の地盤応答解析を実施することで、各入力地震動、各地盤に対する、警報用最大加速度、計測震度、SI 値を対象とした地震増幅率を算定する。そしてこの結果に基づいて、地震増幅率の即時推定式を構築する。ここで、計測震度増幅率を評価する際には、計測震度の増分をそのまま用いるのではなく、計測震度の算定に用いられる加速度（以後、計測震度用加速度と称す）の増幅率を用いることとした。具体的には、計測震度 I_s と計測震度用加速度 a は、次式の関係性を有している²⁰⁾。

$$I_s = 2 \times \log a + 0.94 \quad (1)$$

この計測震度用加速度を用いることで、従来の最大加速度、最大速度の増幅率評価と同一の表現手法での定式化が可能であるとともに、計測震度への換算も容易に実施可能となる。なお、計測震度用加速度は、水平鉛直の3成分の加速度波形を用いることを基本としているが、本検討では水平1成分のみを用いて増幅率を算定した。

続いて、多数の地盤応答解析を実施する際の地震記録、地盤条件、土の非線形特性等は、既往の検討⁹⁾¹⁰⁾で用いたデータを使用した。具体的には、入力地震動の波形としては、多様な周期特性を有する7波形を振幅調整することで用いる。表層地盤は、様々な層構成、周期特性を有する60地盤を用いた。入力地震動の振幅レベルは、以下のように設定した。まず手法①の検討を行う際には、基盤位置での地震動の振幅レベルを一定値に揃えること

とし、警報用最大加速度 PBA_R で 10gal~2000gal、計測震度用加速度 PBI_{sa} で 6.0~1071.5gal（計測震度 PBI_s で 2.5~7.0）、SI 値 $PBSI$ で 1~250kine の範囲で振幅調整することとした。一方、手法②の検討を行う際には、入力地震動の振幅レベルをある一定値に揃えるのではなく、次式によって得られる入力地震動の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比 ρ を一定値に揃えることとする。具体的には、 ρ を 3~1000 の範囲で振幅調整した。

$$\rho = \frac{PBA}{K_f} \quad (2)$$

以上の条件に基づいて、多数の時間領域の地盤応答解析を実施し、地表面位置での時刻歴波形を算定した。これらの結果から SI 値等を算定し、次式によって警報用最大加速度増幅率 Z_{AJR} 、計測震度用加速度増幅率 Z_{ks} 、SI 値増幅率 Z_{SI} を算定した。

$$Z_{AJR} = \frac{PGA_{JR}}{PBA_{JR}} \quad (3)$$

$$Z_{Isa} = \frac{PGI_{sa}}{PBI_{sa}} \quad (4)$$

$$Z_{SI} = \frac{PGSI}{PBSI} \quad (5)$$

ここで、 PGA_R ：地表面地震動の警報用最大加速度、 PBA_R ：基盤地震動の警報用最大加速度、 PGI_{sa} ：地表面地震動の計測震度用加速度、 PBI_{sa} ：基盤地震動の計測震度用加速度、 $PGSI$ ：地表面地震動のSI値、 $PBSI$ ：基盤地震動のSI値である。

(2) 地震動と地盤の周期比を考慮した地震増幅率（手法①）

前節で算定した多数の地盤応答解析結果を手法①によって整理を行う。式(3)~式(5)によって算定した各指標の増幅率 Z を入力地震動の最大値毎に整理したものを、図-1~図-3に示す。これらの図は、横軸に周期比 T_g/T_b 、縦軸に各指標の地震増幅率 Z をとって整理している。

これらの結果を見ると、入力レベルが小さい結果においては、周期比が1付近で大きな地震増幅率を示し、それ以外の周期比では徐々に増幅率が小さくなっていることが確認できる。これはつまり、横軸を周期比によって整理することで、地震動と地盤の共振、非共振という現象を直接考慮できていることを示しており、増幅率を周期比で整理する方法の利点が改めて確認されたものである。さらに入力地震動レベルが大きくなると、地盤が塑性化するとともに、履歴減衰が大きくなるため、ピークの値が小さくなるとともにピークとなる周期比が徐々に短くなる傾向が確認できる。これらは、既往の最大加速度、最大速度の増幅率における検討で得られた知見と同様の傾向である。

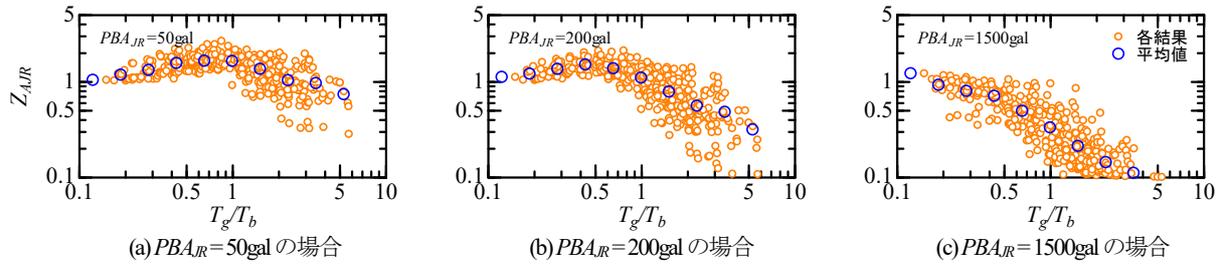


図-1 入力レベル毎の警報用最大加速度増幅率 Z_{AR}

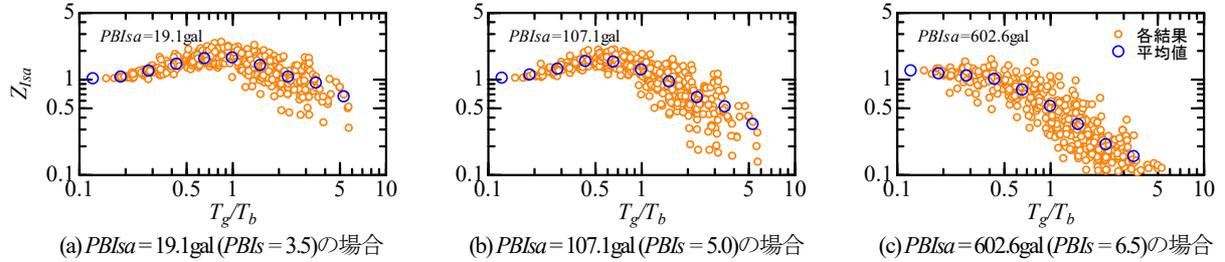


図-2 入力レベル毎の計測震度用加速度増幅率 Z_{Ia}

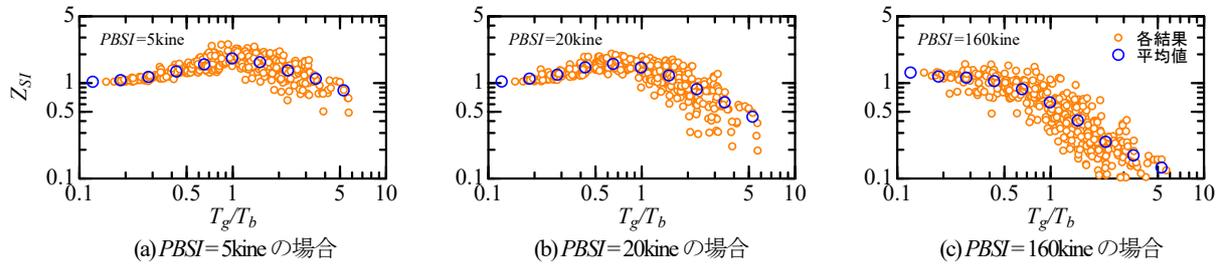


図-3 入力レベル毎のSI値増幅率 Z_{SI}

(3) 地震動最大値と地盤強度の比を考慮した地震増幅率 (手法②)

本節では、手法①による整理に加えて、地盤強度比 K_f を考慮した検討を行う。既往の検討¹⁰⁾では、地震動の最大値毎に評価していた地震増幅率を、入力地震動の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比 ρ で再整理することで、地震増幅率の予測精度の向上を確認している。そこで、警報用最大加速度、計測震度用加速度、SI値に対しても同様の整理を行うこととする。

まず、手法①に従って整理を行った結果に対して、地盤の固有周期 T_g が概ね同程度で、地盤強度比 K_f が異なる地盤の組み合わせを抽出した結果を図4-図6に示す。これらの図を見ると、非常に大きな地震動を入力した場合(各図(c))では、 K_f が大きな地盤(各図×印)の方が、 K_f が小さな地盤(各図△印)と比較して増幅率が大きくなっている。これは、非常に大きな地震動が入力された場合に、地盤の強度で応答が頭打ちになり、それ以上の地震動を地表面に伝えることができなかつたために、強度の小さな地盤の方が相対的に増幅が小さくなったものと考えられる。一方、比較的小さな地震動が入力された場合(各図(a))を見ると、大局的には K_f の違いによる増幅率の大小は見受けられない。しかしながら、周期比が大きい範囲では、強度の大小に伴う増幅率の大小が見られる。これらの結果は、既往の最大加速度、最大速度増

幅率の検討において得られた知見とも調和的であり、地震増幅率評価に K_f を考慮することの有効性を示している。

そこで、式(2)で示した ρ 毎に地震増幅率を評価した結果を図7-図9に示す。これらの図は、前節と同様、横軸に周期比 T_g/T_b 、縦軸に地震増幅率 Z として整理したものである。まず、非常に大きな地震動を入力した場合(各図(c))を見ると、前節で示した整理結果(図1-図3)よりも増幅率のばらつきが明らかに小さくなっていることが分かる。この結果は、警報用最大加速度だけでなく、計測震度用加速度、SI値においても同様の傾向が確認できる。これらの結果から、今回選定した3指標に対しても、各指標の最大値毎ではなく、式(2)で示した ρ によって増幅率を整理することの有効性が確認できる。

3. 地震増幅率の推定式の構築

前章で得られた地盤応答解析に基づく地震増幅率の評価結果を用いて、地震増幅率の推定式を構築する。前述したように、横軸を T_g/T_b として地震増幅率 Z_{AR} 、 Z_{Ia} 、 Z_{SI} を整理した結果は、既往の検討⁹⁾¹⁰⁾で示された最大加速度、最大速度の増幅率と類似した傾向となっている。そこで、地震増幅率の推定式も従来と同様に、次式で示される1自由度系の調和振動の理論増幅率に、いくつかの

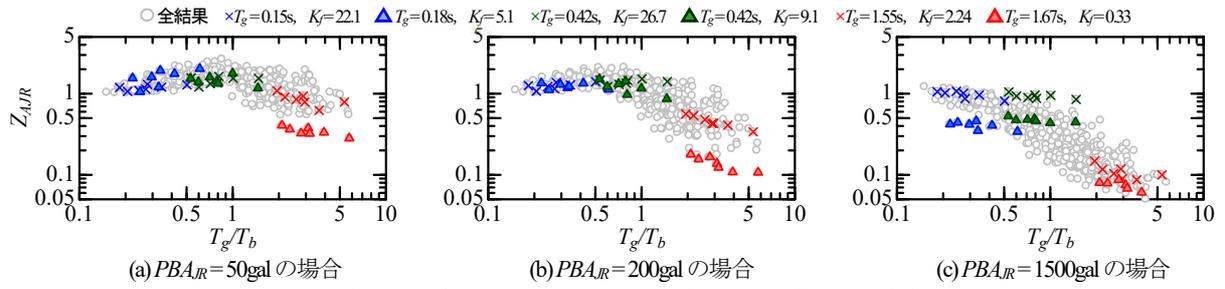


図4 地盤強度比 K_f の違いによる地震増幅率の変化 (警報用最大加速度の場合)

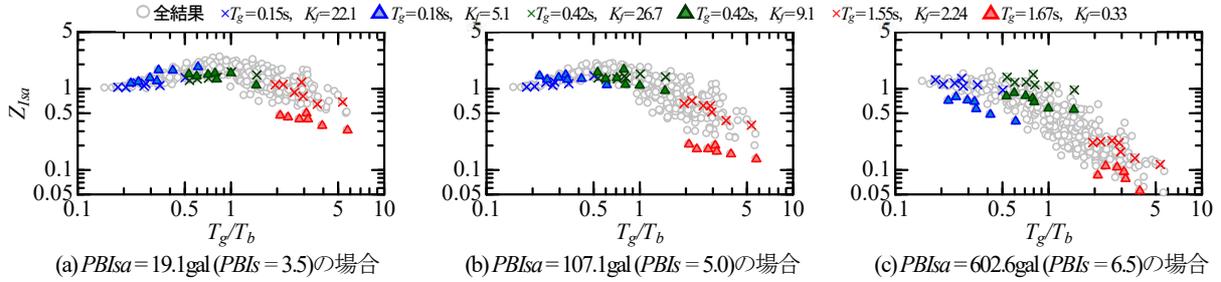


図5 地盤強度比 K_f の違いによる地震増幅率の変化 (計測震度用加速度の場合)

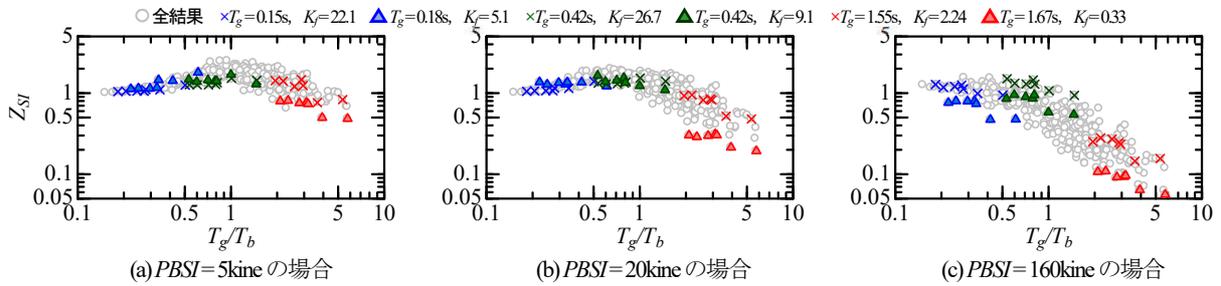


図6 地盤強度比 K_f の違いによる地震増幅率の変化 (SI値の場合)

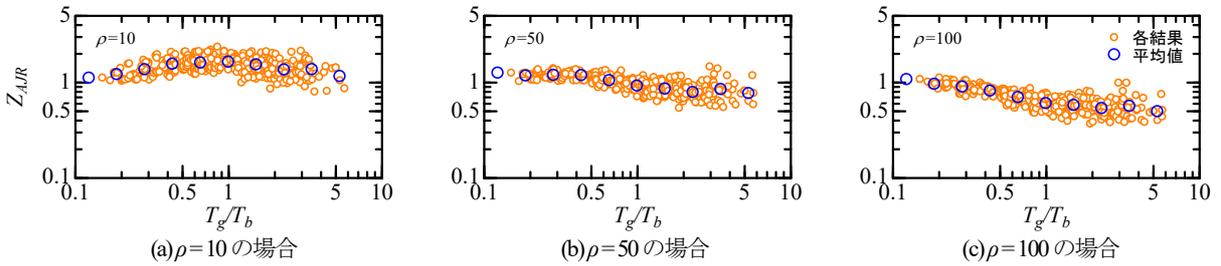


図7 ρ 毎の警報用最大加速度増幅率 $Z_{A/R}$

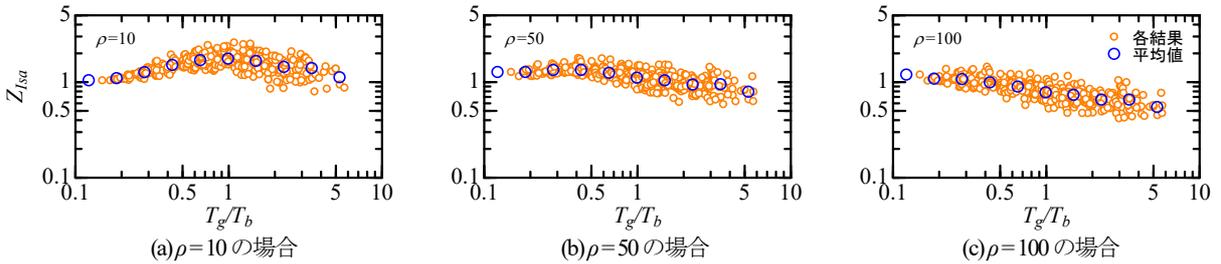


図8 ρ 毎の計測震度用加速度増幅率 $Z_{I/Sa}$

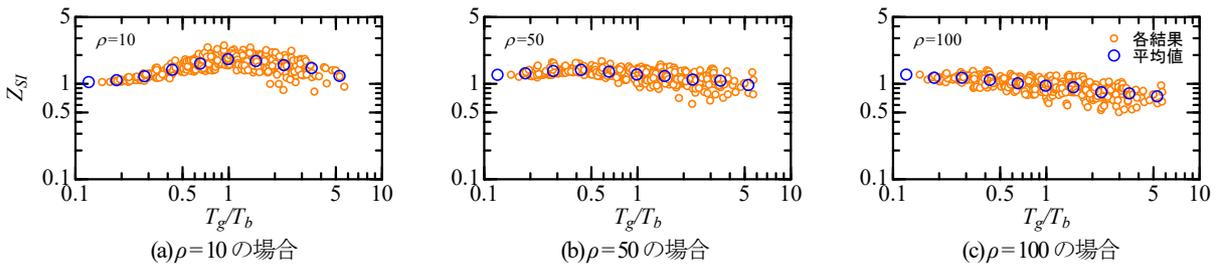


図9 ρ 毎のSI値増幅率 Z_{SI}

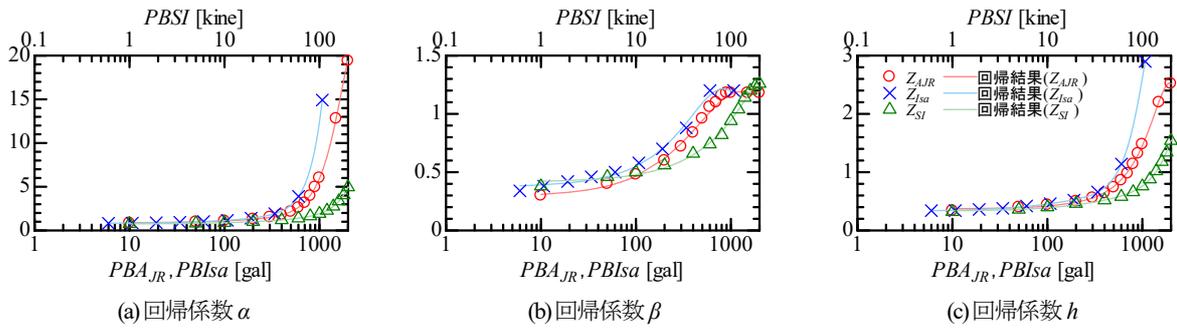


図-10 回帰係数の評価結果 (手法①の場合)

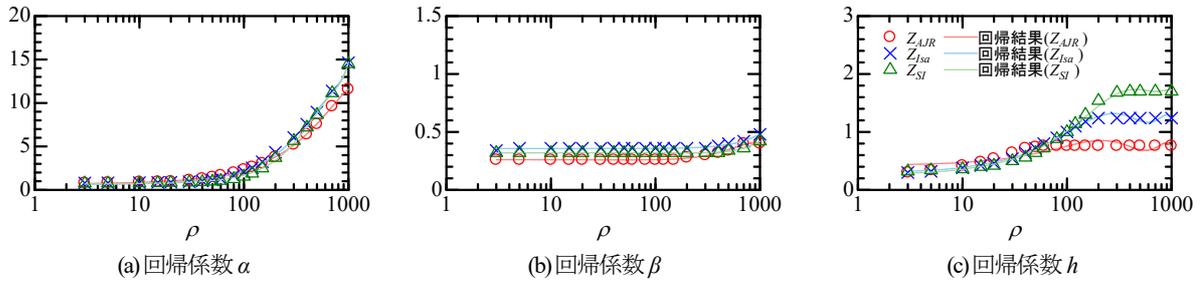


図-11 回帰係数の評価結果 (手法②の場合)

調整パラメータを加えた次式による評価を試みた。

$$Z_{AJR}, Z_{Isa}, Z_{Sl} = \frac{1 + 4h^2 \left\{ \alpha (T_g/T_b)^\beta \right\}^2}{\sqrt{\left[1 - \left\{ \alpha (T_g/T_b)^\beta \right\}^2 \right]^2 + 4h^2 \left\{ \alpha (T_g/T_b)^\beta \right\}^2}} \quad (6)$$

ここで、 α 、 β 、 h は、回帰係数であり、各指標の入力レベル毎または ρ 毎に非線形形の最小二乗法によって最適なパラメータを探索した。得られた各回帰係数を図-10 (手法①の場合)、図-11 (手法②の場合)に示す。また、式(6)と3つの同定されたパラメータ α 、 β 、 h によって評価される増幅率 Z_{AJR} 、 Z_{Isa} 、 Z_{Sl} を算定した結果を図-12~図-17に紫色の実線で示す。結果を見るといずれの入力レベル、 ρ においても全体の平均的な傾向の変化を適切に表現できていることが確認できる。

続いて、各指標の入力レベル毎および ρ 毎に得られた回帰係数 α 、 β 、 h を拡張し、任意の入力レベルおよび ρ に対しても増幅率を推定可能とする。それぞれの回帰係数は、次式に示すような4次関数によって表現することとした。

a) 入力レベルをパラメータとした推定 (手法①)

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot PBA_{JR}^n) \quad (7)$$

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot PBlSa^n) \quad (8)$$

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot PBSI^n) \quad (9)$$

b) ρ をパラメータとした推定 (手法②)

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot \rho^n) \quad (10)$$

ここで、 x_n :各係数 α 、 β 、 h を表現するための係数 ($n=0\sim 4$)である。得られた各係数を表-1~表-6に示す。また、式(7)~式(10)と、係数 x_n によって表現される α 、 β 、 h を図-10、図-11に実線で示す。さらに、この α 、 β 、 h を用いて評価される各指標の地震増幅率を図-12~図-17に黒色の破線で示す。結果を見ると、式(7)~式(10)によって入力地震動レベルおよび ρ の増加に伴う各係数 α 、 β 、 h の変化を適切に表現できている。加えて、この係数を用いた地震増幅率 Z_{AJR} 、 Z_{Isa} 、 Z_{Sl} も全体の平均的な傾向を適切に表現できている。そのため、今回構築した地震増幅率の各表現方法、係数を用いることで、任意の地震動レベル、地盤条件に対して適切な増幅評価が可能となった。

4. 各指標の地震増幅率の推定精度の比較

提案した地震増幅率の推定式の有効性を検証するとともに、手法①と手法②の比較を行う。まず、今回の検討に用いた詳細な地盤応答解析結果による多数の地震増幅率と、提案した手法に基づいて算定される地震増幅率の関係を比較した結果を図-18に示す。結果を見ると、いずれの方法によっても、概ね1:1の直線に乗っていることが確認できる。また、2つの推定方法を比較すると、手法①よりも手法②の方が、明らかにばらつきが小さくなっていることが分かる。

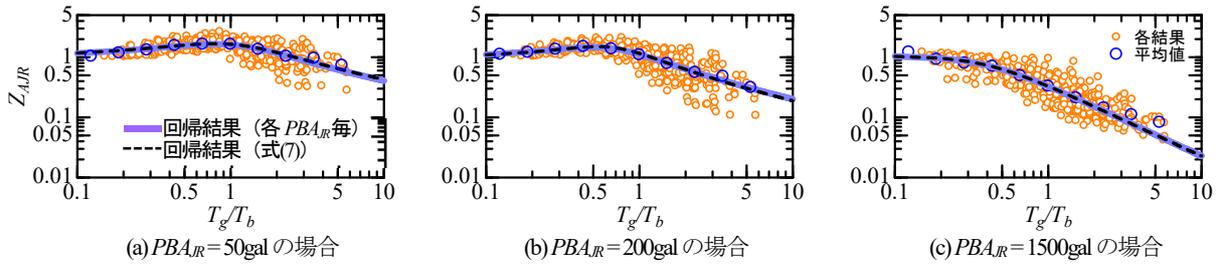


図-12 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法①, 警報用最大加速度増幅率 Z_{AR})

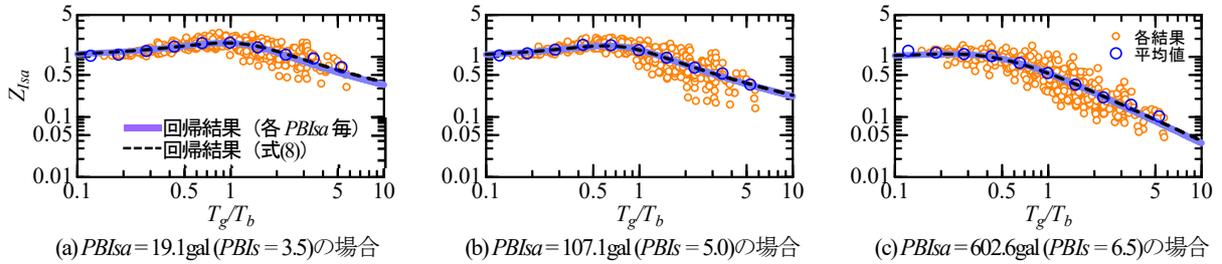


図-13 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法①, 計測震度用加速度増幅率 Z_{ISA})

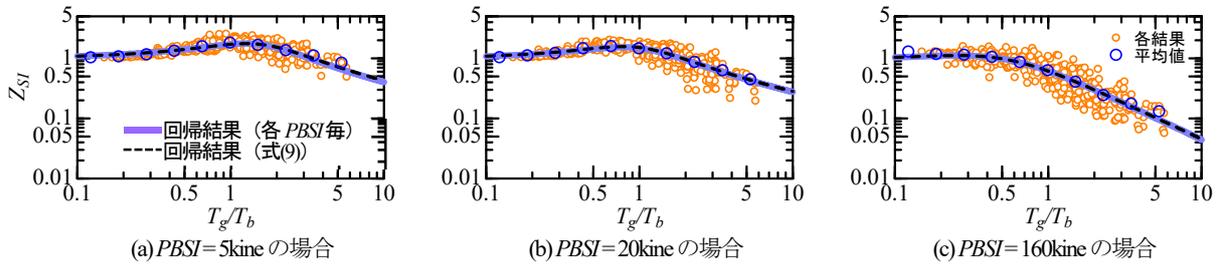


図-14 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法①, SI値増幅率 Z_{SI})

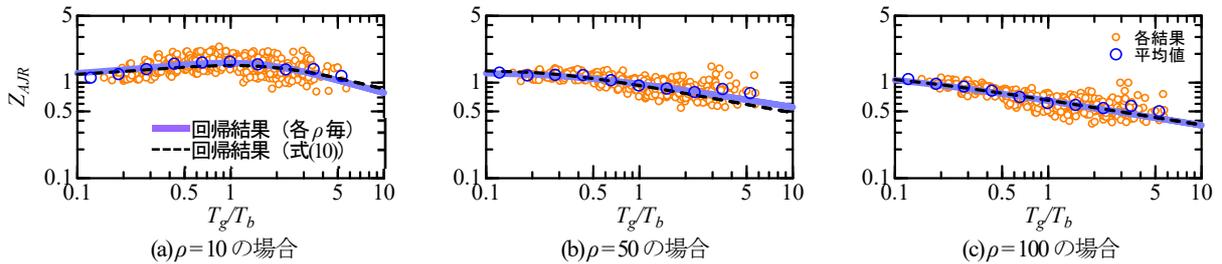


図-15 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法②, 警報用最大加速度増幅率 Z_{AR})

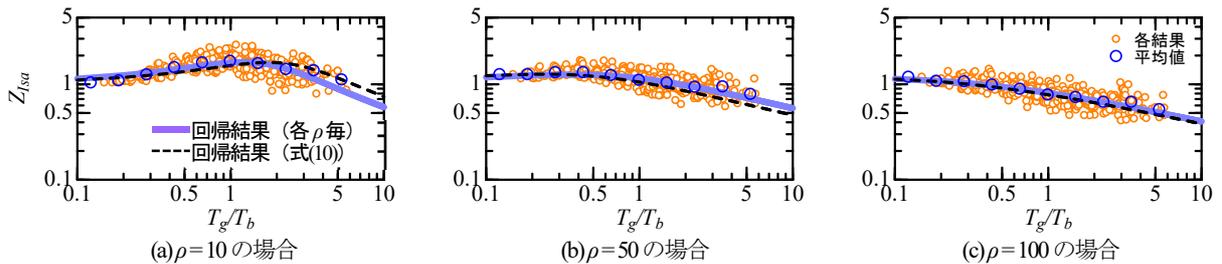


図-16 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法②, 計測震度用加速度増幅率 Z_{ISA})

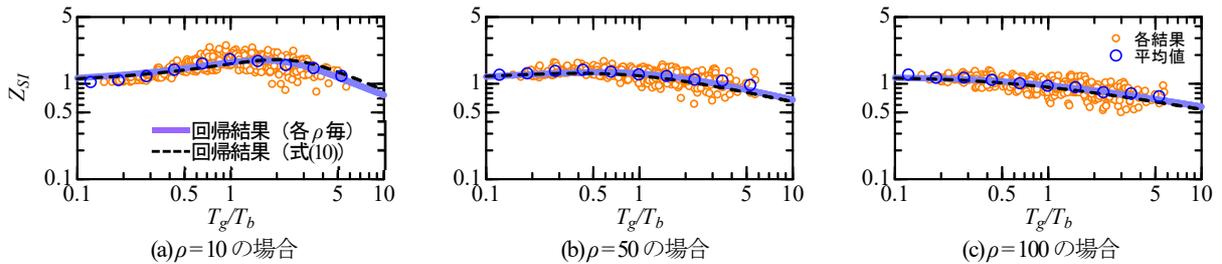


図-17 提案手法に基づく地震増幅率の評価結果 (手法②, SI値増幅率 Z_{SI})

表-1 回帰係数 x_n (手法①, 警報用最大加速度)

n	α	β	h
0	8.7103E-01	2.9059E-01	3.6947E-01
1	2.3312E-03	1.8789E-03	3.9784E-04
2	-3.2091E-06	-1.3055E-06	7.0458E-07
3	8.5745E-09	3.1508E-10	1.4856E-10
4	-2.6186E-12	-9.8078E-15	-1.6589E-13

表-3 回帰係数 x_n (手法①, 計測震度用加速度)

n	α	β	h
0	8.0302E-01	3.7290E-01	3.3011E-01
1	3.9556E-03	1.7727E-03	1.5937E-03
2	-7.2139E-06	1.9632E-07	-4.5597E-06
3	1.5838E-08	-2.3061E-09	9.3561E-09
4	-1.0033E-12	1.1638E-12	-4.1062E-12

表-5 回帰係数 x_n (手法①, SI値)

n	α	β	h
0	7.4509E-01	4.1593E-01	3.3113E-01
1	1.4775E-02	6.3714E-03	6.3465E-03
2	-1.2029E-04	-1.6828E-05	-5.7480E-05
3	1.0337E-06	8.9166E-08	4.6098E-07
4	-1.3849E-09	-2.8043E-10	-9.0362E-10

表-2 回帰係数 x_n (手法②, 警報用最大加速度)

n	α	β	h
0	6.9486E-01	2.6101E-01	4.2482E-01
1	1.6784E-02	-8.5501E-05	4.9453E-03
2	-7.0486E-06	9.2709E-07	-1.8739E-05
3	3.2785E-09	-9.3100E-10	2.5607E-08
4	-2.1271E-12	2.2629E-13	-1.1511E-11

表-4 回帰係数 x_n (手法②, 計測震度用加速度)

n	α	β	h
0	5.9860E-01	3.5737E-01	2.9288E-01
1	1.3046E-02	2.5737E-06	9.5676E-03
2	3.2462E-05	9.8343E-08	-3.0347E-05
3	-6.6173E-08	1.0986E-10	3.7538E-08
4	3.4718E-11	-8.8572E-14	-1.5840E-11

表-6 回帰係数 x_n (手法②, SI値)

n	α	β	h
0	6.7476E-01	3.2013E-01	2.5988E-01
1	4.8475E-03	6.9110E-07	9.6022E-03
2	6.2635E-05	-9.5060E-08	-2.2456E-05
3	-1.0456E-07	3.9861E-10	2.2197E-08
4	5.1114E-11	-2.0453E-13	-7.8800E-12

次に、地震動レベルの変化に伴う増幅率推定の有効性の変化の傾向を確認するため、詳細な地盤応答解析によって得られた地震動最大値と推定式による地震動最大値の比 R を次式により算定し、整理した。

$$R_{PGA_{JR}} = \frac{PGA_{JR}^{est}}{PGA_{JR}^{cor}} \quad (11)$$

$$R_{PGI_{sa}} = \frac{PGI_{sa}^{est}}{PGI_{sa}^{cor}} \quad (12)$$

$$R_{PGSI} = \frac{PGSI^{est}}{PGSI^{cor}} \quad (13)$$

ここで、 $R_{PGA_{JR}}$ 、 $R_{PGI_{sa}}$ 、 R_{PGSI} ：地表面位置における地盤応答解析と提案した手法による各指標の比、 PGA_{JR}^{cor} 、 PGI_{sa}^{cor} 、 $PGSI^{cor}$ ：地盤応答解析による地表面位置での各指標、 PGA_{JR}^{est} 、 PGI_{sa}^{est} 、 $PGSI^{est}$ ：推定式から算定した地表面位置での各指標である。これを基盤位置での各指標 PBA_{JR} 、 PBI_{sa} 、 $PBSI$ に対してプロットした結果を図-19 に示す。結果を見ると、地震動レベル毎の平均値は、手法①②によらず概ね 1.0 となっており、いずれの手法によっても平均的に適切な地震増幅率を算定できていることが確認できる。一方で標準偏差については、手法②の方が全体的に小さな値となっており、表層地盤の強度を考慮することで、表層地盤の地震増幅の推定精度が向上していることが確認された。

5. まとめ

本検討では、地表面地震動の面的な分布の即時推定を有効に実施するために、表層地盤の地震増幅率の高度化に向けた検討を行った。具体的には、地震動の卓越周期 T_b と地盤の固有周期 T_g の比率を指標とした入力地震動のレベル毎の評価（手法①）と、これに表層地盤の強度に関する指標（地盤強度比 K_f ）を指標として加えた評価（手法②）を実施した。検討対象とした地震動指標は、各種施設の地震発生後の健全性判断や点検等の要否判定等に用いられることのある警報用最大加速度、計測震度用加速度、SI 値の 3 指標とした。本検討により得られた知見を以下に示す。

- 地盤の固有周期 T_g と地震動の卓越周期 T_b の比 (T_g/T_b) を指標として、入力地震動の最大値毎に地震増幅率の整理を行った。その結果、周期比 T_g/T_b を考慮することで、地盤と地震動の共振、非共振という現象を陽な形で表現できていることを確認した。さらに、入力地震動レベルが増大することで、地盤の塑性化に伴う増幅のピーク値の低下やピークを示す周期比の低下といった傾向も確認された。
- 上記の整理結果に、入力地震動の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比 ρ を指標として加えた地震増幅率の評価手法を構築した。これにより地盤の非線形化の大小を直接考慮した評価が可能となり、幅広い地震動

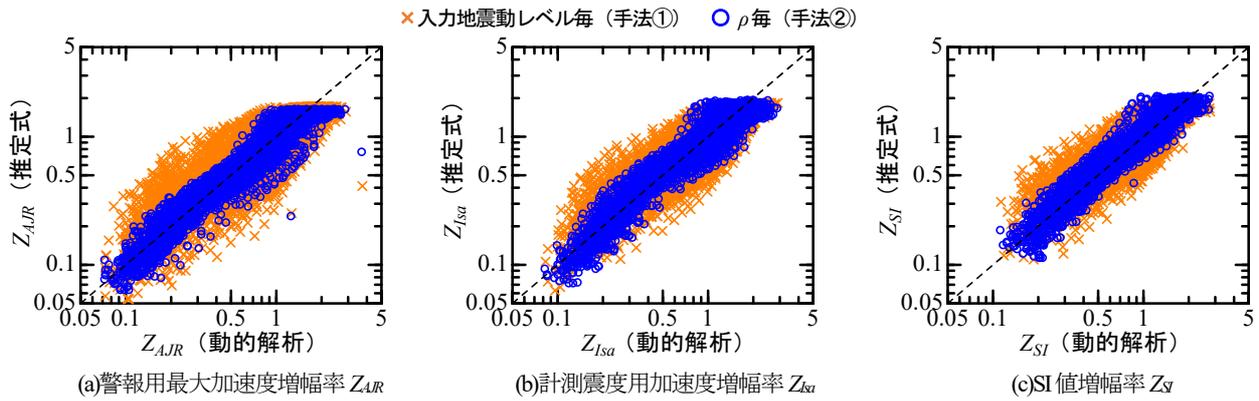


図-18 有効性の検証 (詳細な地盤応答解析による増幅率との比較)

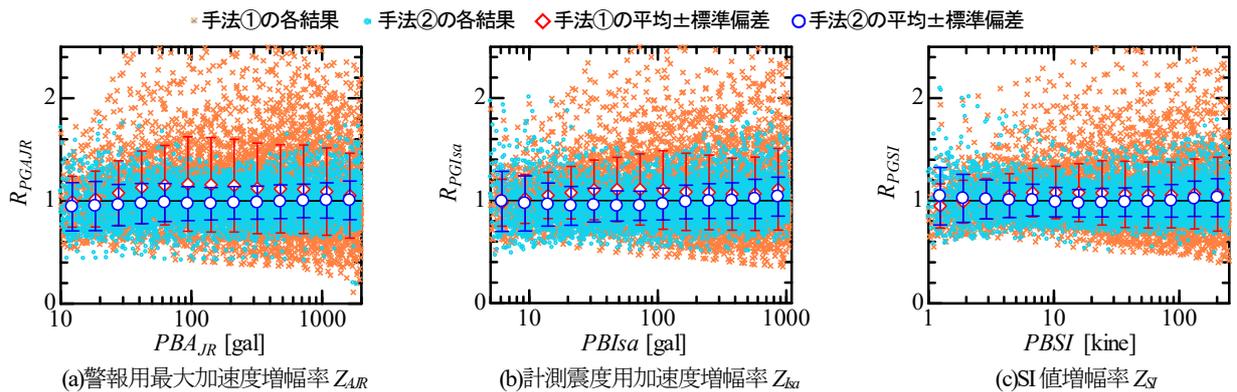


図-19 有効性の検証 (入力レベル毎の詳細な地盤応答解析に基づく結果との比)

レベルに対して地震増幅率の推定精度が大きく向上することが確認できた。

今回提案した各指標の地震増幅率の簡易推定手法と鉄道用地震情報公開システム¹⁶⁾等とを組み合わせることで、地震発生直後の鉄道全線の構造物の健全度判定等の高度化が期待される。

謝辞: 本検討にあたり、防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netの地震動記録を使用させて頂きました。また、本検討の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 翠川三郎, 松岡昌志, 作川孝一, 1987 年千葉県東方沖地震の最大加速度, 最大速度にみられる地盤特性の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 442 号, pp.71-78, 1992.
- 2) 松岡昌志: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第 22 回地盤振動シンポジウム, pp.23-24, 1994.
- 3) 古本吉倫, 杉戸真太, 能島暢呂, 鈴木貴詞: 変換係数による堆積地盤での計測震度の推定法, 地震工学研究発表会講演論文集, Vol.25, pp.57-60, 1999.
- 4) 石井晃, 石田寛, 大保直人, 永田茂, 塩崎信久: 震源情報と地盤の非線形増幅特性を考慮した観測地点間の地震動推定方法, 地震工学研究発表会講演論文集, Vol.25, pp.85-88, 1999.

- 5) 末富岩雄: 強震時における地動分布特性の即時推定に関する研究, 佐藤工業技術研究所報, 別冊, 2000.
- 6) 中村晋: 地震動指標の非線形増幅に及ぼす地盤特性と地震動特性の影響に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.449-456, 2004.
- 7) 藤本一雄, 翠川三郎: 近接観測点ペアの強振記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係, 日本地震工学会論文集, Vol.6, No.1, pp.11-22, 2006.
- 8) 翠川三郎, 駒澤真人, 三浦弘之: 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, Vol.8, No.3, pp.19-30, 2008.
- 9) 野上雄太, 坂井公俊, 室野剛隆, 盛川仁: 表層地盤と入力波の周期特性を考慮した表層地盤での地震増幅率の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.1, pp.191-202, 2012.
- 10) 坂井公俊, 野上雄太: 地盤全体系の強度と入力地震動の最大値を考慮した表層地盤の地震増幅率の高精度化, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.4, pp.170-179, 2017.
- 11) 柿下毅: 気象庁の新しい震度情報 - 推計震度分布 -, 震災予防, No. 186, 2002.
- 12) Wald, D. J., Earle, P. S., Allen, T. I., Jaiswal, K., Porter, K. and Hearne, M.: Development of the US Geological Survey's PAGER system (prompt assessment of global earthquakes for response), Proc. of the 14th WCEE, Paper10-0008, 2008.
- 13) Matsuoka, M. and N. Yamamoto.: Web-based quick estimation system of strong ground motion maps using engineering geomorphologic classification map and observed

- seismic records, Proc. of the 15th WCEE, Paper10-0008, 2012.
- 14) 長屋和宏, 片岡正次郎, 日下部毅明, 松本幸司: 震後対応における意思決定を支援する即時震害推測システムの開発, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.1_966-1_974, 2016.
 - 15) 防災科学技術研究所: J-RISQ 地震速報, <https://doi.org/10.17598/nied.0017>, 2020.
 - 16) 岩田直泰, 坂井公俊, 山本俊六, 室野剛隆, 青井真: 鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER) を利用して素早く運転を再開する, RRR, Vol.77, No.2, pp.12-15, 2020.
 - 17) 坂井公俊, 井澤淳, 室野剛隆, 日野篤志: 地盤全体系の強度指標の提案とその簡易推定法に関する検討, 日本地震工学会論文集, Vol.15, No.7, pp.22-33, 2015.
 - 18) 鈴木博人, 島村誠: 地震時運転規制方法の検討, JR 東日本テクニカルレビュー, No.3, pp.53-60, 2003.
 - 19) 芦谷公稔, 佐藤新二, 岩田直泰, 是永将宏, 中村洋光, 鉄道の地震警報システムにおける緊急地震速報の活用, 物理探査, 第 60 巻, 第 5 号, pp.387-397, 2007.
 - 20) 気象庁, 震度を知るー基礎知識とその活用ー, ぎょうせい, 1996.

EVALUATION OF AMPLIFICATION FACTOR OF SURFACE GROUND FOR VARIOUS SEISMIC INTENSITIES BASED ON STRENGTH OF SURFACE GROUND AND PEAK VALUE OF INPUT GROUND MOTION

Shota SUGIURA, Yuta NOGAMI, Katsutomo NIWA,
Kohei TANAKA and Kimitoshi SAKAI

In this study, a simplified method for evaluating the amplification factor of surface ground is proposed, which is based on the ratio of the peak period of surface ground to input ground motions, the ratio of the peak value of the ground motion to the strength of surface ground (Ground strength ratio K_g). Three seismic intensities (seismic intensity, SI, and JR-PGA) were selected. The proposed method can take into account the resonance phenomenon between ground motions and surface ground by considering the period ratio as a parameter. In addition, by considering the ratio of strength, the degree of nonlinearity of surface ground can also be considered. It is confirmed that the dispersion of the evaluation results is reduced by taking these parameters into account.