

表層地盤の強度と入力地震動最大値を考慮した計測震度増幅率の評価

JR 東日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○杉浦翔太, 野上雄太, 青山貴洋
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 坂井公俊, 田中浩平, 丹羽健友

1. はじめに

広範囲の地表面地震動の面的な分布を簡易に精度良く推定することは地震防災上重要である。著者らは、過去に、基盤位置での地震動の最大加速度 PBA と表層地盤全体の強度（地盤強度比 K_f ¹⁾）の比 ρ をパラメータとして加えることで、表層地盤と入力波の周期特性を考慮した地表面加速度および速度の地震増幅率が精度良く推定できることを示している（以後、提案法と称す）²⁾。地震後の構造物の点検の要否判断には、上記以外の地震動指標も使われることがあるため、本報では、計測震度に着目して、提案法による表層地盤の地震増幅率の評価を試みた。

2. 検討方法

本検討で対象とする計測震度は、加速度の対数表示で表現されるため、増幅率のように比率を用いる指標としては感度が低くなり適切ではないと考える。そこで、計測震度の算出に用いられるフィルター処理された加速度波形の最大値（以後、計測震度用加速度と称す）によって地震増幅率を評価することとした。

また、本検討では、多数の地盤応答解析結果より増幅率を算定することとする。使用する地震記録、地盤条件、土の非線形特性等は、紙面の都合上割愛するが、既往の検討²⁾で用いたデータを使用した。

多数の地盤応答解析によって得られた地表面地震動から、計測震度用加速度の最大値 PGI_{sa} を算出し、基盤位置での計測震度用加速度の最大値 PBI_{sa} で除すことにより、計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ を評価した。

3. 計測震度用加速度増幅率の評価

前章の解析結果から算出した計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ を入力地震動の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比 ρ 毎に整理した提案法の結果を図1に示す。これらの図は、既往の検討^{2),3)}と同様に、横軸に周期比 T_g/T_b 、縦軸に計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ をとって整理している。また、地盤強度比 K_f を考慮したことにより、増幅率 $Z_{I_{sa}}$ の推定精度が向上したかどうかを比較するために、地盤強度比 K_f を考慮しない、つまり入力地震動レベルのみを考慮した結果として、基盤位置での計測震度用加速度の最大値 PBI_{sa} 毎に整理した結果（以後、従来法と称す）を図2に示す。

図より、 ρ や PBI_{sa} の大きさに応じて計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ が変化しているのが確認でき、既往の加速度・速度の増幅率の結果と調和的である。また、地盤強度比 K_f の影響を考慮した図1とこれを無視した図2の結果を比較すると、提案法である図1の方が、周期比 T_g/T_b 毎の増幅率のばらつきが明らかに小さくなっている。これより、計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ も、入力地震動のレベル毎ではなく、基盤位置の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比 ρ によって整理することの妥当性が確認できる。

4. 計測震度用加速度増幅率の推定式

前章で得られた計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$ の整理結果から簡易に増幅率を算定可能な推定式を構築する。増幅率 $Z_{I_{sa}}$ の推定式は、既往の研究¹⁾と同様に、式(1)および式(2)で評価した。なお、地盤強度比 K_f を考慮したことによ

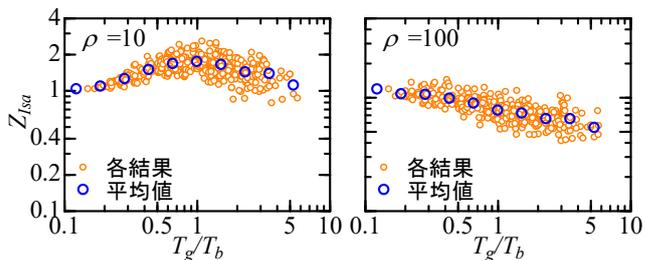


図1 ρ 毎の計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$

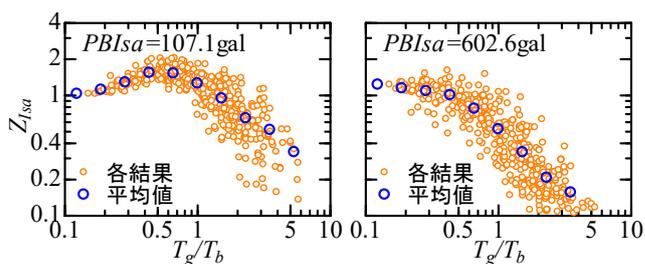


図2 PBI_{sa} 毎の計測震度用加速度増幅率 $Z_{I_{sa}}$

キーワード 地震増幅率, 計測震度, 地盤強度比

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1 技術本部 特殊解析室 TEL:03-5435-7625

り、増幅率 Z_{Isa} の推定精度が向上したかどうかを確認するために、地盤強度比 K_f を考慮しない、つまり入力地震動レベルのみを考慮した推定式も式(3)として導出する。回帰係数 α , β , h は、非線形の最小二乗法によって最適なパラメータ x_n を探索して決定した。

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

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot \rho^n) \quad (2)$$

$$\alpha, \beta, h = \sum_{n=0}^4 (x_n \cdot PBIsa^n) \quad (3)$$

ここで、 Z_{Isa} : 計測震度用加速度増幅率、 T_g : 地盤の固有周期、 T_b : 入力地震動の卓越周期、 α , β , h : 回帰係数、 x_n : 係数 α , β , h を表現するための係数 ($n=0\sim 4$)、 ρ : 基盤位置の最大加速度 PBA と地盤強度比 K_f の比、 $PBIsa$: 基盤位置の計測震度用加速度の最大値である。

式(1)~(3)によって評価される計測震度用加速度増幅率 Z_{Isa} を算定した結果として、 ρ をパラメータとした提案法の結果を図3に、計測震度用加速度 $PBIsa$ をパラメータとした従来法の結果を図4に、紫色の曲線で示す。また、得られた各係数を表1、表2に示す。結果を見ると、いずれの ρ または $PBIsa$ の値においても、全体の平均的な増幅率の変化を適切に表現できていることが確認できる。

5. 推定式の有効性の確認

地盤強度比 K_f を考慮した推定式の有効性を確認するため、地盤応答解析による結果と式(1)~(3)で推定した計測震度用加速度増幅率 Z_{Isa} の結果を比較する。解析結果と推定結果の比を基盤位置の計測震度用加速度の最大値 $PBIsa$ に対してプロットした結果を図5に示す。 $PBIsa$ 毎の平均値は、提案法を用いて推定した結果で1.0に近く、良好な推定結果を得ている。また、標準偏差についても、従来法よりも提案法の方が全体的に小さな値となっており、地盤強度比 K_f を考慮することで、増幅率 Z_{Isa} を精度良く推定できている。

6. まとめ

本検討では、地盤と入力波の周期特性を考慮し、かつ、地盤強度比と入力地震動の最大値の比 ρ を指標として加えた計測震度用加速度増幅率の評価を行った。その結果、計測震度増幅率についても、幅広い地震動レベルに対して推定精度が向上することが確認できた。

参考文献 1)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, 2015. 2)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, Vol.73, No.4, 2017. 3)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, Vol.68, No.1, 2012.

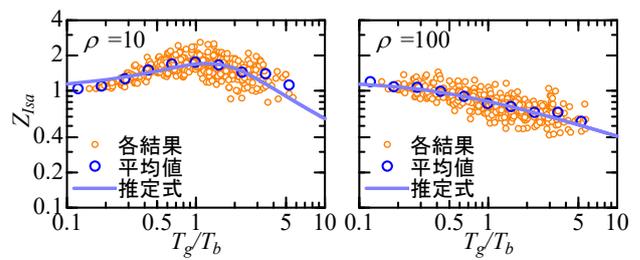


図3 式(2)の増幅率 Z_{Isa} の推定結果

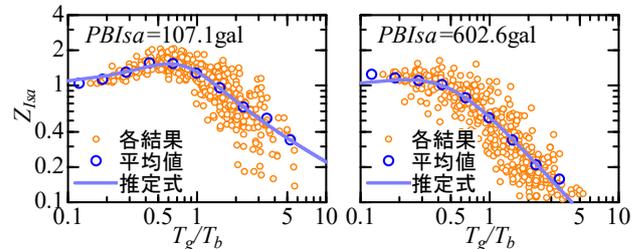


図4 式(3)の増幅率 Z_{Isa} の推定結果

表1 式(2)の係数 x_n

n	α	β	h
0	5.9860E-01	3.5737E-01	2.9268E-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2 式(3)の係数 x_n

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

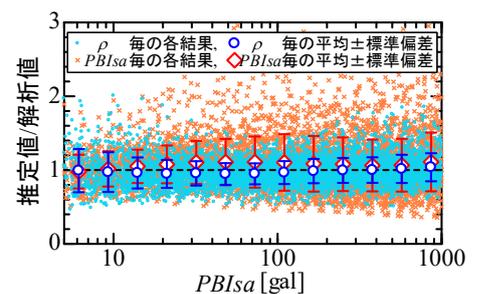


図5 $PBIsa$ 毎の推定値と解析値の比