

地盤物性の変動を考慮した地表面地震動最大値の確率分布評価法

(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	坂井 公俊
(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	田中 浩平
中央開発(株)	正会員	○東野 圭悟
中央開発(株)	正会員	王寺 秀介

1. 背景・目的

土木構造物の地震リスクを適切に評価するためには、構造物挙動の不確定性だけでなく、地盤挙動の不確定性も適切に考慮することが重要である。この時、表層地盤の地震時挙動は地震応答解析によって評価することができるが、評価地点直下の地盤物性が存在しない場合もあり、周辺のボーリングデータと微地形区分を組み合わせることで、地盤条件を修正する方法が提案されている¹⁾。これを用いることで、地盤条件（具体的には固有周期 T_g ）の平均と変動が評価される。その際に、地盤条件の不確定性を考えた上での地表面地震動の変動を評価する必要があるが、評価地点が多い場合には、各地点でモンテカルロシミュレーション(以下、モンテカルロ法)を実施することは現実的でない可能性もあり、何らかの効率的な手法を用いることが有効であると考えられる。この時、3点推定法などのような多点推定法²⁾が有効な手法の候補として挙げられるが、地震動は系の周期によって応答が大小するため、地盤応答の確率分布評価に多点推定法を用いることは適切ではない可能性が指摘されている³⁾。

そこで本検討では、地盤物性の不確定性を考慮した場合の地表面地震動の確率分布を効率的かつ適切に評価する方法の提案を行う。本報告では基本的な概念の提案と、地盤の固有周期 T_g の変動のみを考慮した条件で試算を行うことで有効性を確認する。

2. 手法の整理

提案法のイメージを図1に示すが、本手法では多点推定法と応答スペクトルを組み合わせることで、地表面地震動の確率分布を効率的かつ適切に推定する。なお既往の検討によって、水平成層地盤の非線形挙動は等価な1自由度系によって概ね表現可能であることが確認されている⁴⁾ため、本検討における地盤応答解析法としては等価1自由度モデルを用いることとした。ただし、一般的に採用されている1次元土柱モデル等を用いることも可能である。

以下に、地盤の T_g が正規分布で変動する場合の地表面地震動最大加速度を①モンテカルロ法、②3点推定法³⁾、③提案法の3手法の整理を行う。提案法の説明を行う際には、地盤 T_g の確率分布を $\mu(T_g)=0.3s$ 、 $\sigma(T_g)=0.1$ 、その他のパラメータとして地盤強度比 $K_f=0.3$ 、減衰 $h=0.03$ を設定した場合の計算結果についても併せて示す。

①モンテカルロ法：各固有周期 T_g を有する地盤に対して地震応答解析を実施することで得られた最大加速度に、各地盤の発生確率を乗じることで最大加速度の確率分布を評価する。

②3点推定法：地盤 T_g の確率分布の μ 、 $\mu \pm \sqrt{3}\sigma$ の3点に対して地震応答解析を実施し、各最大加速度を求め

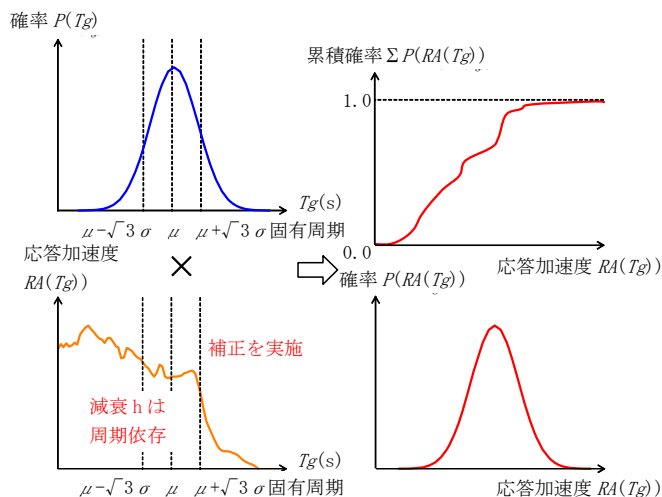


図1 地表面地震動の確率分布の評価手法のイメージ

キーワード 地震応答解析, 確率分布, モンテカルロシミュレーション, 多点推定法

連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地震動力学研究室 TEL042-573-7394

る。これから、期待値 E および標準偏差 σ を算出することで、最大加速度の確率分布を推定する。

③提案法：Step1：3点推定法で着目した3点 ($\mu, \mu \pm \sqrt{3}\sigma$) に対して地震応答解析を実施し、初期の T_g と等価固有周期 T_g' 及び等価減衰 h' の関係を整理する。この結果から T_g - T_g' 関係、 T_g' - h' 関係をモデル化する(図2, 図3)。Step2：この T_g - T_g' 関係、 T_g' - h' 関係を用いて弾性加速度応答スペクトルを算出する(図4)とともに、3点の非線形解析結果を用いて応答スペクトルの補正係数 C を算定する(図5)。Step3：補正係数 C を応答スペクトルに乗じるとともに、得られたスペクトルに T_g の確率分布を乗じることで、最大加速度の確率分布を推定する。

3. 提案法の有効性の確認

提案法の有効性を確認するために、各手法によって最大加速度の確率分布を算定した。なお地盤条件は、前述したように地盤 T_g の確率分布を $\mu(T_g)=0.3s$, $\sigma(T_g)=0.1$ としている。地盤は線形弾性体とした場合と非線形性を考えた場合の2ケースで実施する。最終的に得られた最大加速度の確率分布を図5(地盤線形の場合)、図6(地盤非線形の場合)に示す。いずれの条件においても、モンテカルロ法の確率分布は複雑な形状を示しており、3点推定法ではモンテカルロ法の確率分布のピーク、形状を適切に表現できていない。一方で、提案法を用いることで、確率分布のピーク値や複雑な形状を適切に評価できている。

4. まとめ

本検討では、地盤の固有周期 T_g の変動を考慮した最大加速度の確率分布を簡易かつ適切に評価する手法の提案を行った。今後は、非線形特性の変動を考慮した検討を実施するとともに、地震動最大値だけでなく、構造物応答の確率分布を評価可能な手法についても整理を行う予定である。

参考文献

- 1) 田中 浩平, 坂井 公俊, 大西 徹夫：高密度な地盤調査データベースと微地形区分を組み合わせた表層地盤条件の空間分布評価, 第52回地盤工学研究発表会, 2017,
- 2) Rosenblueth, E: Point estimate for probability moments, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol. 72, No.10, pp.3812-3814, 1975,
- 3) 畑 明仁：地盤物性の不確実性を考慮した地中構造物の損傷確率評価法に関する研究, 京都大学学位論文, 2015,
- 4) 坂井 公俊, 室屋 剛隆：地盤の等価1自由度モデルを用いた非線形動的解析法の提案, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.3, PP.341-351, 2015.

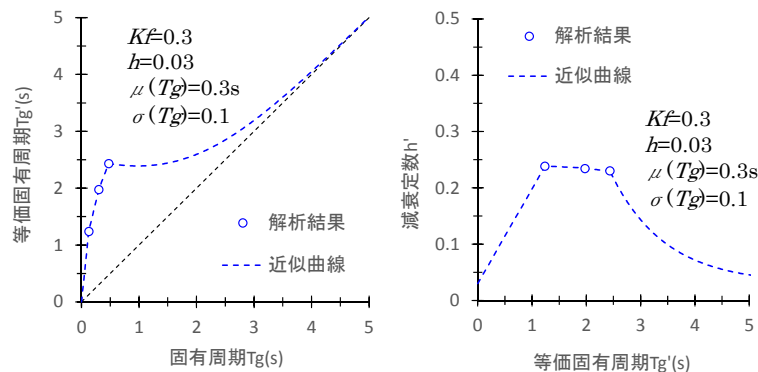


図2 T_g - T_g' 関係

図3 T_g' - h' 関係

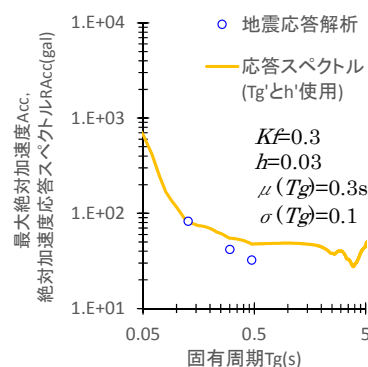


図4 弾性応答スペクトル

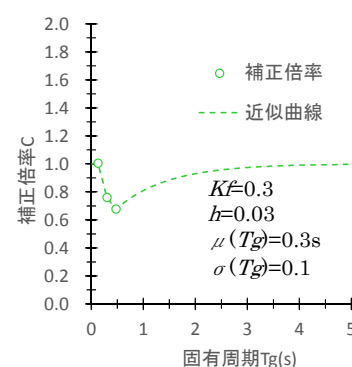


図5 補正係数 C

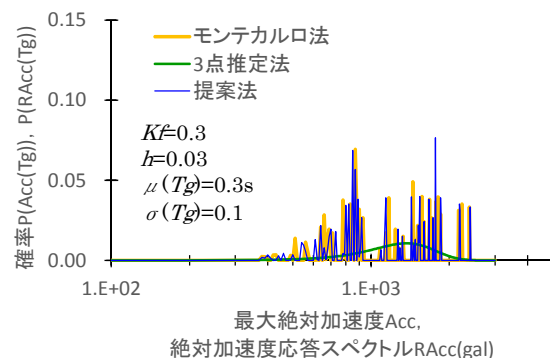


図5 最大加速度の確率分布(線形の場合)

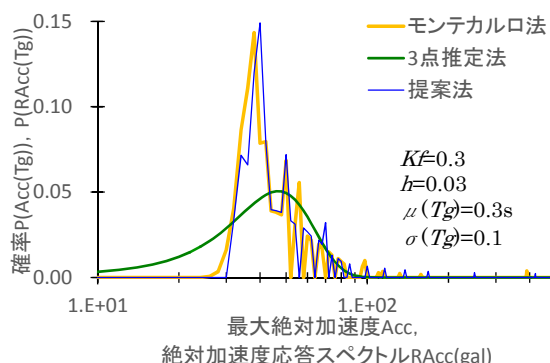


図6 最大加速度の確率分布(非線形の場合)