

震源特性の偶然的不確実性に起因する地震動予測のばらつきに関する研究

Study on Variability of Ground Motion Prediction due to Aleatory Uncertainty of Source Parameters

引田 智樹 Tomoki Hikita

1. はじめに

想定地震の地震動予測は、構造物の耐震安全性を考える上で重要である。近年、このような地震動予測では、断層破壊のシナリオを仮定して、それをモデル化した断層モデルを用いた手法を適用するケースが増えている。断層モデルを用いた手法を適用することで、断層面上のすべりの不均質性や破壊伝播の効果を反映した現実的な地震動予測が可能となるが、将来発生する地震の断層破壊が、事前に仮定した断層モデルと一致するとは限らないこと、断層モデルの条件が変われば予測結果が大きく変動する可能性があることから、一つのシナリオに基づいた予測のみでは不十分であり、将来発生する地震に対する断層破壊の不確実性を考慮した地震動予測の必要性が指摘されるようになってきている。断層破壊の不確実性を考慮した地震動予測の方法としては、断層パラメタを変動させた多数の断層モデルを用いた多サンプルの地震動シミュレーションを行い、地震動振幅の予測分布を評価することが有効であるが (Fig. 1), 計算手法や条件、結果の妥当性に関して多くの課題があり、評価方法が確立されているとは言えない。本研究では、断層破壊の不確実性に起因する予測地震動分布を合理的に評価するための手法を提案することを目的とした。

2. 断層モデルによる地震動応答スペクトルの評価方法

断層パラメタを変動させた多サンプルの地震動シミュレーションにより、地震動振幅の予測分布を精度良く評価するためには膨大なサンプル数が必要となり、実務的な適用において大きな問題となる。そこで、広周期帯域の地震動評価に広く利用されている統計的グリーン関数法による地震動応答スペクトルの評価に着目して、断層モデルによる地震動のスペクトル特性とランダム波による一質点系の理論応答特性を組み合わせることにより、仮定した断層モデルによる任意地点の最大応答振幅を簡便に予測する方法を提案した。これにより、現実的な計算時間で十分なサンプル数の地震動評価が可能となり、断層モデルを変動させた多サンプルの計算を行うことで、評価点における予測地震動の振幅分布を評価することができる。

予測地震動振幅分布の評価において、その平均が重要であることはもちろんだが、どのくらい大きな揺れが生じるかという観点では平均よりも標準偏差によって表されるばらつきの大きさが重要となる。そこで、提案手法を用いた試解析を行い、複数の断層パラメタの変動が予測地震動振幅 (応答スペクトル) の標準偏差に及ぼす影響を調べた。その結果、断層パラメタの変動による予測地震動振幅の標準偏差は断層面と評価点の位置関係によって異なることがわかった (Fig. 2)。また、各断層パラメタの変動が予測地震動振幅のばらつきに及ぼす影響を調べた結果、評価点の位置や地震動の周期によって、ばらつきに支配的な影響を及ぼす断層パラメタが異なることがわかった。ただし、全評価点に対する予測地震動振幅の平均的なばらつきの大きさに対しては、断層パラメタのうち、地震モーメントと短周期レベルの変動が大きく影響することがわかった。

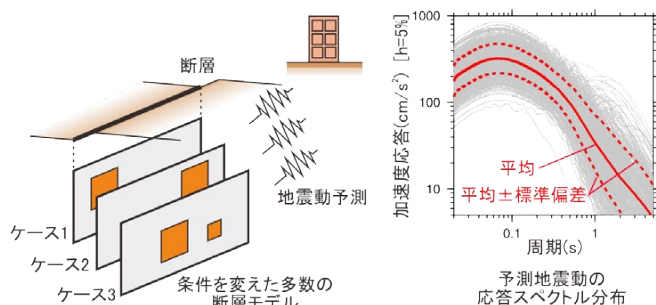


Fig. 1 断層破壊の不確実性を考慮した地震動予測の概念図 (Schematic Illustration of Ground Motion Prediction Considering Uncertainty of Rupture)

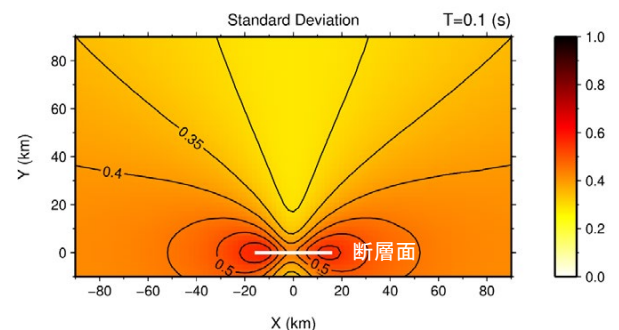


Fig. 2 予測地震動振幅の標準偏差の空間分布例 (Example of Standard Deviation Spatial Distribution of Simulated Ground Motions)

3. 観測地震動振幅のばらつきの分析

断層パラメタの不確実性を考慮した地震動シミュレーションでは、仮定する不確実性の条件によって予測地震動振幅のばらつきが変わってしまう。しかし、不確実性の条件について十分な知見はなく、その設定方法が問題である。予測地震動振幅のばらつきについては、これまでに蓄積された多数の地震観測記録に基づく観測事実と比較して大きな矛盾が無いことを確認することは可能である。そこで、観測事実と矛盾しないばらつきを評価するために、どのような断層パラメタの不確実性を仮定すれば良いかという観点で断層パラメタの不確実性の条件を検討した。まず、地震の規模や震源位置が同じ地震観測記録を用いて、地震毎に震源特性の不確実性によって生じる観測地震動振幅のばらつきを調べた。そして、これらのばらつきに対応する地震モーメント、短周期レベルの不確実性の大きさを推定した。なお、観測地震動振幅のばらつきの特徴には、地震規模との相関性が認められ、地震規模に応じた不確実性の違いを考慮する必要があることがわかった。

4. 地震動振幅のばらつきのシミュレーション

観測記録の分析から推定した地震モーメント、短周期レベルの不確実性に加えて、アスペリティ位置や破壊開始点位置などの不確実性を仮定した地震動評価を行い、評価結果のばらつきと観測地震動振幅のばらつきの特徴を比較した。ばらつきの評価結果は観測結果の特徴を概ね再現しており、仮定した不確実性の条件による計算によって、観測事実と大きく矛盾しないばらつきが評価できることが確認された (Fig. 3)。この不確実性の条件に基づいて、マグニチュード7クラスの想定地震に対する地震動評価を行い、予測地震動振幅のばらつきを推定した。対象とする地震の規模が大きくなると、評価結果のばらつきのピーク周期が長周期側に変化し、マグニチュード7では周期2秒程度の応答スペクトルのばらつきが大きくなることがわかった (Fig. 4)。このことから、想定される大地震に対しては、断層破壊の不確実性による予測地震動振幅のばらつきは、短周期成分よりも長周期成分を相対的に大きく見積もる必要があると考えられる。ばらつきの大きさは想定地震の断層面の条件と評価点の位置によって異なるため、対象とする評価点の位置に応じた検討を行うことが重要となる。

5. おわりに

断層破壊の不確実性を仮定した地震動予測において、観測事実と整合した合理的なばらつきを評価するための方法について検討した。本研究で得られた知見は、想定地震に対する確率論的地震動評価において活用が期待できる。確率論的地震動評価では、地震動予測に伴う偶然的な不確実性を確率分布により表現する必要があるが、その際に、本論文で示した断層パラメタの偶然的な不確実性を考慮した地震動シミュレーションを行い、予測地震動振幅の確率分布を直接的に評価することが可能である。断層パラメタの不確実性による予測地震動振幅のばらつきは、断層面と評価点の位置関係によって異なることから、ばらつきの空間的な非一様性を考慮することが、より合理的な確率論的地震動評価に繋がる可能性がある。

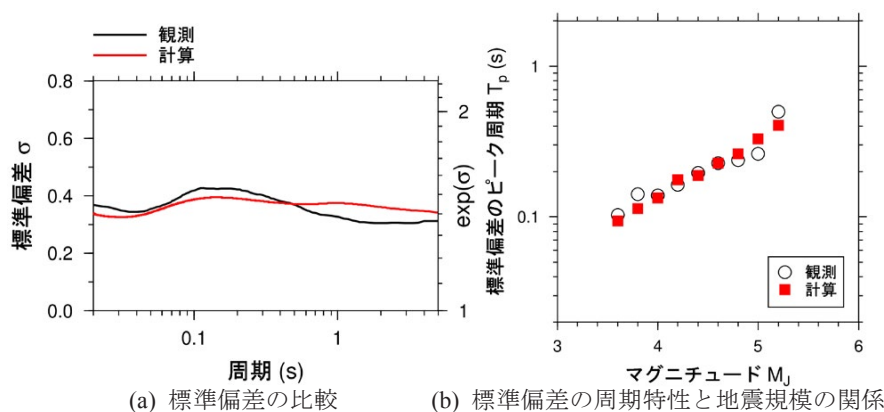


Fig. 3 地震動応答スペクトルの標準偏差の計算結果
(Standard Deviation of Response Spectra of Ground Motions)

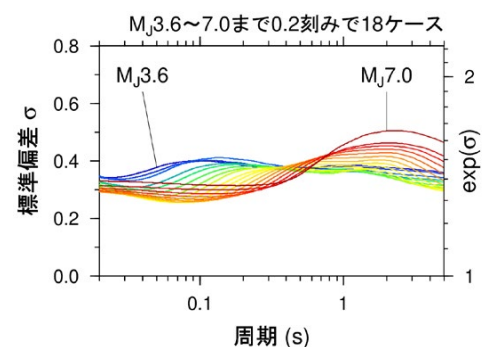


Fig. 4 地震規模毎の標準偏差計算結果
(Estimated Standard Deviation for Magnitudes)

キーワード: 地震動予測, 断層モデル, 統計的グリーン関数法, 不確実性, 応答スペクトル

Keywords : ground motion prediction, fault model, stochastic Green's function method, uncertainty, response spectrum