

グリーン関数法の波形重ね合わせ時の破壊伝播のゆらぎの影響

鉄道総合技術研究所 田中浩平, 坂井公俊, 室野剛隆

中央開発 ○王寺秀介, 西岡佑介

1. はじめに

近年改訂された設計基準では, 設計地震動を強震動予測手法に基づいて評価することが要求される場合が多い。その際の計算方法としては, 統計的, 経験的グリーン関数法が用いられることが多く, かつ計算プログラムや標準的な震源パラメータの公開も相俟って, 比較的容易に強震動予測に基づく設計地震動の評価が可能となってきた。

グリーン関数法を用いて地震動の重ね合わせを行う場合, 小断層の破壊位置を均等に設定することに伴う無意味な周期成分の卓越を防ぐことを目的として, 破壊伝播にゆらぎを与える場合がある¹⁾。当然ではあるが, 破壊伝播のゆらぎの与え方によって地震動評価結果は変化する。ただし, この変化をどのように扱うかは任意性が残されている。また, グリーン関数に与える位相スペクトルを群遅延時間の平均と標準偏差から算定する手法²⁾が提案されているが, このときの乱数の組み合わせによっても, グリーン関数と最終的な地震動の評価結果は変化する。よって設計地震動は, これらのゆらぎに起因する地震動評価結果のばらつきにも十分配慮して設定する必要がある。そこで本研究では, これら破壊伝播のゆらぎが要因となる地震動評価結果のばらつきの程度や, 安定的な地震動評価結果(平均値, 標準偏差)が得られるまでに必要となるサンプル数について検討を行う。

2. 計算条件

強震動予測手法としては, 震源・伝播経路・サイト特性をそれぞれモデル化した位相特性と経験的サイト増幅特性を用いた統計的グリーン関数法³⁾を用いる。グリーン関数の振幅スペクトルには, 近地項, 中間項の影響も考慮する⁴⁾。また, 高周波遮断周波数 f_{\max} は 6Hz, ラディエーションパターン係数は全方位の平均値として 0.63, 地震動を水平方向の2成分に分配する係数は $1/\sqrt{2}$, 自由表面の影響による増幅は 2.0 をそれぞれ用いた。

本研究では, まず断層破壊進展のゆらぎが地震動評価結果に与える影響を確認するために, 各小断層内の破壊位置をランダムに 10 セット準備した。また, グリーン関数に与える位相スペクトルの変動が地震動評価結果に与える影響を確認するために, 各小断層を 10×10 の極小断層に分割しインパルス列の重ね合わせを行う際の破壊地点をランダムに 10 セット変化させるとともに, 伝播経路特性はモデル化した平均値, 標準偏差を満足するサンプルを 10 セット準備した。つまり, 地点毎, シナリオ毎にグリーン関数の位相特性を 10 セット, グリーン関数の重ね合わせ方法を 10 セット変化させた計 100 ケースの地震動を計算することになる。

対象とする震源域は, 中央構造線断層帯 讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部(Mw=7.6)とした。震源特性は, 防災科学技術研究所の地震ハザードステーション⁵⁾に基づき, 破壊開始点や強震動生成域を変化させた 4 シナリオを設定した。なお, 地震動の評価地点は, 四国地域に存在する K-NET 観測点の 53 箇所とした。

3. 破壊伝播のゆらぎによるばらつきの評価について

前章で示した手法により, 地点毎, シナリオ毎に地震動評価を 100 ケース実施した。ここで, 各小断層の破壊地点の設定によるばらつきを「ばらつき I」, 小断層の位相スペクトルの設定によるばらつきを「ばらつき II」とする。ばらつき I, II の対数標準偏差(常用対数)を最大加速度と最大速度で比較したものを図-1 に示す。この図より, 最大加速度はばらつき I と II で標準偏差に差はないが, 最大速度はばらつき I と II で標準偏差に多少違いがあり, ばらつき II の方が大きくなっていることがわかる。この要因としては, 速度波形の方が小断層から発生する地震波の重ね合わせの影響を受けやすいためと考えられる。

4. サンプル回数と統計量の関係について

次にサンプル回数と, 最大加速度, 最大速度の統計量を比較したものを図-2 に示す。凡例中の距離は断層最短距離を, 倍率はサイト増幅特性(地震基盤~工学的基盤($V_s=400\text{m/s}$ 以上))の周期 0.3~1.2 秒の平均値をそれぞれ示す。まず平均値については, 最大加速度, 最大速度ともサンプル数を増加させることによる値の変化は小さい。一方で, 標準偏差はサンプル数が 4 以下では一定値に収束していない。また, 標準偏差の収束は, 最大加速度と最大

キーワード 統計的グリーン関数法, 設計地震動, 平均, 標準偏差, 破壊伝播のゆらぎ

連絡先 〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5 中央開発(株) TEL03-3208-5252

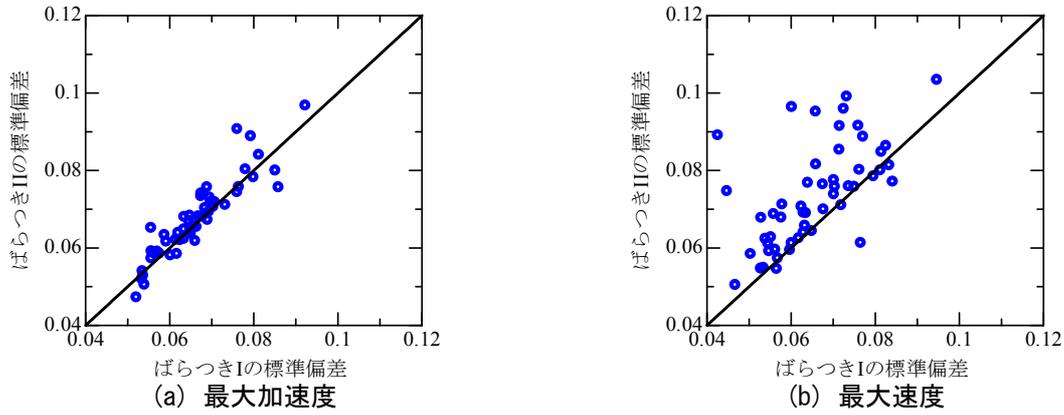
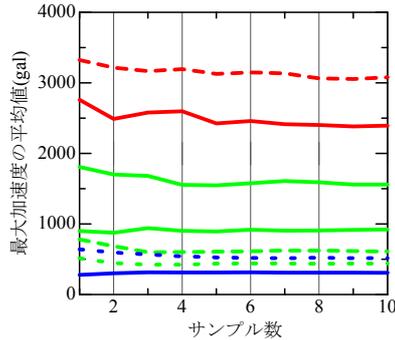
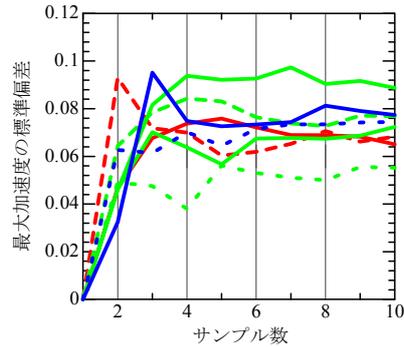


図-1 ばらつき I と II の比較

— 0-10km 9倍以上 - - - 10-20km 9倍以上 - - - 20-30km 5-7倍
— 0-10km 5-7倍 - - - 10-20km 5-7倍 - - - 20-30km 5-7倍
— 0-10km 0-3倍 - - - 20-30km 0-3倍

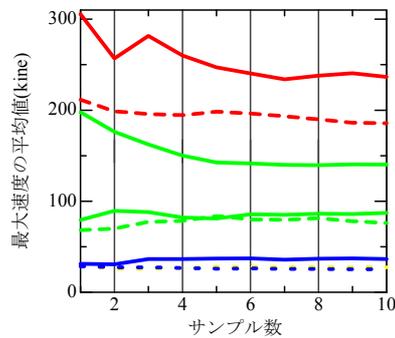


(a) 最大加速度の平均値

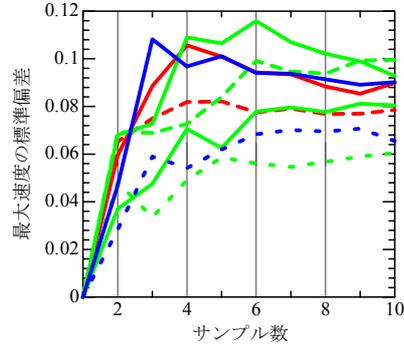


(b) 最大加速度の標準偏差

— 0-10km 9倍以上 - - - 10-20km 9倍以上 - - - 20-30km 5-7倍
— 0-10km 5-7倍 - - - 10-20km 5-7倍 - - - 20-30km 5-7倍
— 0-10km 0-3倍 - - - 20-30km 0-3倍



(c) 最大速度の平均値



(d) 最大速度の標準偏差

図-2 サンプル数と統計量の関係

速度の違い、断層最短距離やサイト増幅特性の違いによらず、概ねサンプル数 6 程度 (6×6=36 ケース) でほぼ収束していることがわかる。

5. まとめ

破壊伝播のゆらぎが地震動評価結果の平均、ばらつきに与える影響について確認した。その結果、今回用いた計算条件では、平均値はサンプル数によらずほぼ一定、標準偏差は 6×6 程度のサンプル数で安定的な結果となることが分かった。つまり、設計地震動として対象とする地震像の平均値を用いる場合には少ないサンプル数でも評価可能であるが、例えば平均+標準偏差を設計地震動として用いる場合には、40 ケース程度の計算を実行する必要があるといえる。

参考文献 1) 加藤研一ほか：強震動予測手法に関するベンチマークテスト：統計的グリーン関数法の場合(その 1), 日本建築学会技術報告集 第 17 巻 第 35 号,49-54,2011.2 2) K.Sakai, S. Sawada, Y. Murono : A study for modeling path and site effects in consideration of spatial variation of earthquake ground motions, ICOSSAR2014, MS-EGM09, 3) 坂井公俊,室野剛隆：土木構造物の性能照査のための本震—余震波形群の評価に関する基礎的検討,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学),2014 4)野津厚：統計的グリーン関数法に近地項と中間項を導入するための簡便な方法,第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集,pp.190-193,2006 5) (独)防災科学技術研究所：地震ハザードステーション(J-SHIS),<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>