

地盤軟弱における経験的グリーン関数法の適用拡大に関する検討 地盤の非線形性を考慮するスペクトル補正法の検討

飛島建設 技術研究所	正会員 ○池田 隆明
横浜国立大学	正会員 小長井一男
京都大学 原子炉実験所	釜江 克宏
京都大学名誉教授	入倉孝次郎
東京大学 生産技術研究所	正会員 清田 隆

1. はじめに

経験的グリーン関数法(以下, EGFM)¹⁾は, 地震動を大地震と小地震の地震の相似則と震源スペクトルの相似則に基づき経験的グリーン関数の線形な重ね合わせで表現するため, 軟弱地盤では合成波形が過大評価となり直接的な適用には限界がある. この問題に対し, 筆者らは EGFM と地盤の地震応答解析を組み合わせた方法(以下, 詳細法)を提案^{2),3)}しているが, 評価地点の非線形地震応答解析が必要なため, 評価地点が多い場合には困難を伴う. そこで, 評価対象を応答スペクトルに変更し, 評価地点の AVS30 と EGFM から得られた地震動から地盤の非線形性を考慮した応答スペクトルを評価する方法(以下, スペクトル補正法)を提案する.

2. 詳細法による軟弱地盤での強震動評価

詳細法は地表の小地震動を工学的基盤に引き戻し, EGFM で波形合成を行い, 再び地盤の非線形地震応答解析により地表の地震動を評価する. 図 1 に 2007 年能登半島地震における ISK005 における観測地震動, EGFM で評価した地震動, 詳細法による地震動の擬似速度応答スペクトル($h=0.05$, 以下, 応答スペクトル)を示す. EGFM は観測に比べ約 1 秒以下の領域で大きく増幅しているのに対し, 詳細法では増幅が抑えられ観測との一致度が向上している.

3. スペクトル補正法

スペクトル補正法は, EGFM により算出した地表の応答スペクトル $S_L(t)$ にスペクトル補正関数 $C(t)$ を乗じて地盤の非線形性を考慮した地表の応答スペクトル $S_{NL}(t)$ を評価する方法である. $C(t)$ は $S_{NL}(t)/S_L(t)$ で評価される指標であり, 地盤特性や入力地震動レベルを考慮し適切に設定する必要がある.

詳細法と EGFM から求めた $S_{NL}(t)$ と $S_L(t)$ から $C(t)$ の形状を明らかにする.

図 2(a)に前述の ISK005 を含め文献 2),3)に示す NIG019, FKO006 での検討結果から得られた $C(t)$ を示す. $C(t)$ は短周期領域と長周期領域で一定値を示すが, 周期 1.0 秒前後でばらつきが見られる. ばらつきは地盤特性の違いと考え, 横軸を評価地点の弾性卓越周期で除した基準化周期(np)に変更し図 2(b)に示す. 3 地点のスペクトル補正関数 $C(np)$ は同様の形状となる. そこで補正関数を $np=T_1$ までは一定の値(C_1)をとり, そこから $np=T_2$ の間で大きくなり, それを超えると再び一定の値(C_2)になるように単純にモデル化する(図 3).

スペクトル補正関数は $C(np)=S_{NL}(np)/S_L(np)$ で評価されるが, $S_{NL}(np)$ と $S_L(np)$ は同一地盤に対する非線形および線形地震応答解析から算出可能である. そのため, 地盤特性と入力地震動レベルをパラメータとして地震応答解析を行い, スペクトル補正関数の定量的評価を行う.

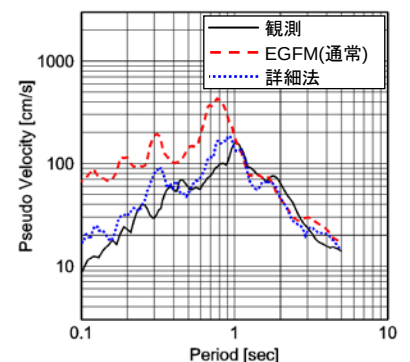


図 1 詳細法による地震動評価結果
(2007 年能登半島地震, ISK005)

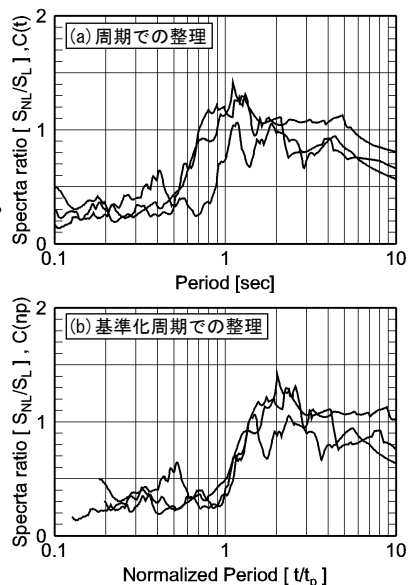


図 2 詳細法と EGFM から評価した
スペクトル補正関数

経験的グリーン関数法, AVS30, 軟弱地盤, 非線形特性, 強震動評価, 応答スペクトル

〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社技術研究所 takaaki_ikeda@tobishima.co.jp

地盤特性は微動や微地形区分から評価できる AVS30 を指標とし、100m/s から 300m/s まで 10m/s 刻みで 21 種類の地盤を設定する。地盤は層厚 30m の粘性土層 - 砂質土層 - 粘性土層の三層構造(各層厚 10m)とし、非線形解析では文献 4) で規定される非線形特性を与える。入力地震動は図 4 に示す内陸型地震を想定した 2 種類の模擬地震動(道示波⁵⁾、告示波⁶⁾)とし、最大加速度を 100cm/s^2 から 1000cm/s^2 まで 100cm/s^2 刻みで変化させた。

図 5 に AVS30 を 100m/s, 300m/s, 入力レベルを 100cm/s^2 , 1000cm/s^2 とした場合の $S_{NL}(np)$, $S_L(np)$, $C(np)$ を示す。いずれのケースも T_1 と C_2 はほぼ一定値であるが、 T_2 と C_1 は AVS30 と入力レベルに依存する傾向が見られ、この傾向はそれ以外の検討ケースにも共通する。そのため T_1 と C_2 は全ケースの平均値を参考に $T_1=0.9$, $C_2=1.1$ とし、 T_2 と C_1 は AVS30 と入力レベルで定式化する。入力レベルは工学的基盤での最大加速度が適しているが、EGFM から設定出来ない指標のため、EGFM から得られる地震動の応答スペクトルの最大値(以下、PGR)を指標とする。図 6 に AVS30=150m/s の場合の PGR と T_2 , C_1 との関係を示す。 T_2 は PGR が 3000cm/s 迄は PGR に比例し、その後一定値を与える。 C_1 は PGR が 2000cm/s の前後で異なる一定値を与える。同様の検討を他の AVS30 に対して実施し、 T_2 , C_1 と PGR との関係から補正関数 $C(np)$ を評価する。

図 7 にスペクトル補正法を用いて評価した地盤の非線形性を考慮した応答スペクトルを詳細法および観測地震動の応答スペクトルと比較して示す。検討サイトは前述の NIG019, FKO006, ISK005 である。ISK005 では 0.3~0.6 秒で差異が見られるが、それ以外ではスペクトル補正法は詳細法の応答スペクトルを再現できている。

4. まとめ

AVS30 を用い EGFM から求めた地震動の応答スペクトルから地盤の非線形性を考慮した応答スペクトルを評価する方法を提案し妥当性の検証を行った。その結果、詳細法と同程度の応答スペクトルを評価できることがわかった。

参考文献

1)Irikura: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th JEES, 151-156, 1986., 2)池田隆明他: 経験的グリーン関数法を用いた震源のモデル化と地盤の非線形性を考慮した地震動評価, 2005 年福岡県西方沖の地震と 2007 年能登半島地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, 665, 1253-1261, 2011., 3)Kamae et al.: Source model composed of asperities for the 2004 Mid Niigata Prefecture, Japan, earthquake M=6.8 by the forward modeling using the empirical Green's function method, EPS, 57,533-538, 2005., 4)建築物の構造関係技術基準解説書, 2007., 5)道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012., 6)建設省告示第 1461 号, 2000.

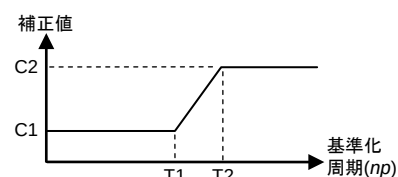


図 3 スペクトル補正関数のモデル化

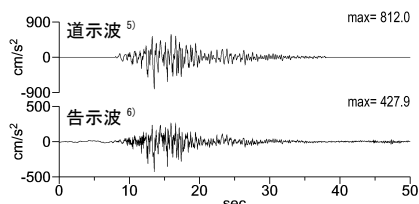


図 4 検討に用いる入力地震動(原波)

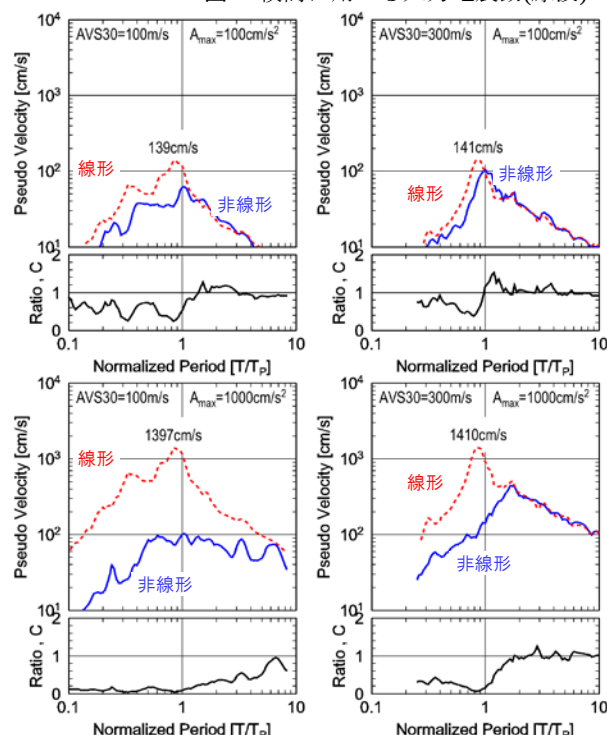


図 5 非線形を考慮した場合(青)としない場合(赤)の擬似速度応答スペクトル($h=0.05$)とスペクトル補正関数

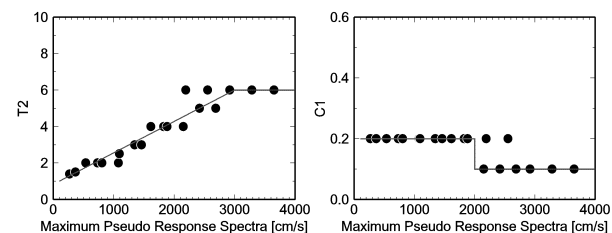


図 6 入力レベルと T_2 , C_1 との関係(AVS30=150m/s)

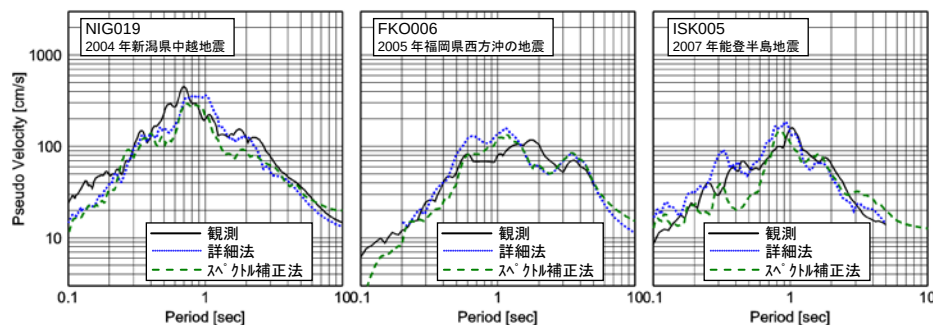


図 7 擬似速度応答スペクトル($h=0.05$)の比較