

多重非線形効果再考

Reconsideration of Multiple Nonlinear Effects

野津 厚 [1]

Atsushi Nozu[1]

[1] 港空研

[1] PARI

1. はじめに

工学的基盤面に下方から入射する地震波がすでに地盤の非線形挙動の影響を受けているかどうかは、設計用入力地震動を策定する上で重要な検討項目である(例えば小森他, 2006)。この点に関しては、室内試験のみならず、強震記録に基づく検討が重要である。工学的基盤面に下方から入射する地震波がすでに地盤の非線形挙動の影響を受けている場合として次の二通りのケースが考えられる(1)工学的基盤面より深い深層地盤が非線形挙動を示す場合(2)多重非線形効果(野津・盛川, 2003)が生じる場合。このうち多重非線形効果とは、直達S波に続く後続位相が、対象地点の工学的基盤面に下方から入射する以前にすでに表層地盤を横切っており、その際に表層地盤の非線形挙動の影響を受けることをいう。ここでは、1995年兵庫県南部地震によるポートアイランド鉛直アレー観測記録を対象とし、経験的グリーン関数法と有効応力解析手法を併用することにより、この点に関する検討を行った。著者ら(Nozu and Uwabe., 2000)はすでに類似の検討を行っているが、その際、震源モデルとして釜江・入倉(1997)のものを使用していた。今回はその改訂版である山田他(1999)の震源モデルを用いて検討を行った。

2. 多重非線形効果の確認

ポートアイランドに対して最も影響の大きい山田他(1999)の震源モデルのアスぺリティ1, 2と余震との位置関係を考慮し、ここでは1995/2/18 21:37に発生した余震(M5.0)の記録を経験的グリーン関数として用いることにした。重ね合わせのパラメタであるNとCは神戸大学における観測記録を再現できるように設定した。先ず、表層地盤の非線形挙動を考慮せずにポートアイランドの地表における速度波形(0.1-2Hz)の計算を行ったところ、その結果は、当然ではあるが大幅な過大評価となった。特にEW成分の過大評価が著しい結果となった。そこで、次のステップとして、地表における余震記録から線形の重複反射理論により工学的基盤における入射波(2E)を求め、これをグリーン関数として工学的基盤における本震時の入射波(2E)を計算し、これを入力して表層地盤の有効応力解析(FLIP)を行い、鉛直アレーの各深度での速度波形(0.1-2Hz)を計算した。この手順により、対象地点直下の表層地盤の非線形挙動は考慮できていることになる。なお、有効応力解析に用いる土質定数の妥当性については、別途、鉛直アレー観測記録に基づいて確認を行っている(Nozu and Uwabe., 2000)。計算結果を観測結果と比較したところ、図に示すように、直達S波はかなり良好に再現されるが、後続位相については大幅な過大評価となることがわかった。過大評価が後続位相だけに生じている点については、多重非線形効果が生じているためと考えれば、うまく説明がつく。多重非線形効果を考えず、深層地盤の非線形挙動の観点からこのことを説明しようとしても難しいように思われる。

3. 非線形パラメタの同定

ここでは、過大評価の原因を多重非線形効果に求めることにし、多重非線形効果の強さを表す「非線形パラメタ」(1および2; 野津・盛川, 2003)の同定を試みた。ここに1は堆積盆地内の媒質の平均的なS波速度の低下率を表し、2は堆積盆地内の媒質の平均的な減衰定数の増分を表す。ただし、野津・盛川(2003)では非線形パラメタを地表におけるグリーン関数に対して適用するものとしていたが、今回はそれを改め、工学的基盤におけるグリーン関数に対して適用するものとした。これは、「非線形パラメタ」は等価線形の考え方に準じて地盤の非線形挙動の影響を簡便に評価しようとしたものであり、ポートアイランドの観測点直下の表層地盤に生じたような地盤の強い非線形挙動を考慮するのに適しているとは言えず、観測点直下の表層地盤の非線形挙動は有効応力解析により考慮することが望ましいと考えられたためである。グリッドサーチによる探索を行い、最適な非線形パラメタの同定を行った。

参考文献 小森他(2006): 土木学会論文集A, 62, 909-914. 野津・盛川(2003): 地震2, 55, 361-374. Nozu and Uwabe(2000): 12WCEE, 538/4/A. 釜江・入倉(1997): 日本建築学会構造系論文集, 500, 29-36. 山田他(1999): 日本地震学会講演予稿集。

