

1193

周波数依存性を考慮した等価線形解析の適用性

佐藤工業 正会員 吉田 望 末富 岩雄

北海道大学 学生員 小林 悟史 正会員 三浦 均也

1 はじめに

筆者らは、SHAKEの持っている欠点を除くために有効ひずみを周波数の関数と設定することで等価線形法の改良を手がけてきた¹⁾。ここでは、その妥当性を検証するために鉛直アレー記録のシミュレーションを行った結果を報告する。なお、有効ひずみの周波数に対する補間式は文献1)で提案したものから変更した(以後DYNEQ)。すなわち、ゼロクロス法で求めた振幅 γ_{max} と周波数 f_p を通り、 f_p から f_c (=15Hz)までは次の式で示される放物線($m=2$)、その両側では一定の有効ひずみとする。

$$\gamma_{eff} = \gamma_{max} - \left(\frac{\log f - \log f_p}{\log f_c - \log f_p} \right)^m$$

文献1)で指摘したように、等価線形法の意義の一つはdeconvolutionにある。そこで、ここでは、convolutionとdeconvolutionの両方を検討する。また、解析では既往の等価線形手法、SHAKEとFDELとの比較も行っている。

2 新富士サイト

東電新富士変電所で1983年神奈川県・山梨県境地震で得られた記録を解析する。材料特性は、田蔵ら²⁾、吉田ら³⁾の解析と同じである図-1に地盤モデルと最大応答値、図-2にconvolution解析の地表の加速度時刻歴、図-3にひずみが大きかった第3層(GL-5~7m)の応力-ひずみ関係、図-4にdeconvolution解析における基盤の複合波を示す。最大ひずみは0.2%を越えている。

既に指摘したように¹⁾に大地震下ではSHAKEは最大加速度を過大評価し、FDELはSHAKEより大きな最大加速度となことは、最大加速度応答からわかるし、図-3よりその原因がせん断応力の過大評価であることも明瞭である。しかし、この点を除けば、三つのプログラムにそれほど大きな差はない。大きな差が現れるのはdeconvolution解析である。ここで、DYNEQとFDELはほぼ同じ応答を示すのに対し、SHAKEは異常に大きな加速度となっていることに起因し、図-3からわかるように高周波成分が過大に評価されたためである。実用からいえば、convolutionとdeconvolutionで同じ結果を出すのがもっとも好ましいが、DYNEQが最もこの条件を満たしている。

3 ポートアイランドサイト

1995年兵庫県南部地震の際ポートアイランドで得られた記録を解析する。ここでは表層の埋土層で著しい液状化が発生しているが、その下に軟弱な粘性土があり、著しい非線形挙動が起こっている⁴⁾。解析条件等は吉田の解析⁴⁾と同じだが、材料特性はその後の調査を考慮し見直してい

る。図-5に地盤モデルと最大応答値、図-6に地表の加速度時刻歴、図-7にGL-16mにおける加速度時刻歴を示す。Ma13層の最大ひずみは約1.5%、埋土層の最大ひずみは4%を越えている。

地表の応答は観測値とかなり離れているがこれは、材料特性のモデル化の際液状化に関しては何も検討していないためで当然といえる。GL-16mの波形では、DYNEQは5.5, 7, 8秒付近で見られるスパイク状の波形を含めよく観測値を説明しているのに対し、SHAKEは高周波成分がなく位相もずれている。また、FDELはスパイク状の波形が再現できていない他、数Hzの成分が卓越し観測とは相当離れている。この原因を探るために、Ma13層の周波数依存性を示したのが図-8であるが、FDELでは2Hzでひずみが非常に小さくなり、5, 7Hzの波動が過大評価されていることがわかる。文献1)で示したように、ひずみ速度依存性のない土で周波数依存性を考慮するのは時刻歴に見られる周波数依存性を考慮するため、図-9に示すように有意なひずみは10~20Hzの間まで続いているので、これをFDELのようなひずみのフーリエスペクトルで表現することに無理があるためと考えられる。なお、図-10に入射波と複合波を比較して示すが、入射波はほとんど複合波と一致しており、上部の液状化の影響を受けていない。

図-11はdeconvolutionで得られた基盤の加速度波形である。地表の記録を与えることは意味がないので、ここでは、GL-16mの記録を入力として与えている。なお、SHAKEは発散したので、高周波成分を無視して解析を行った。convolutionと異なり、いずれの解析も結果は良くない。これは、この位置では、少ないとはいえ液状化の影響が観測波形にあるはずで、それが逆増幅されたためと考えられ、今後の検討課題といえる。

4 まとめ

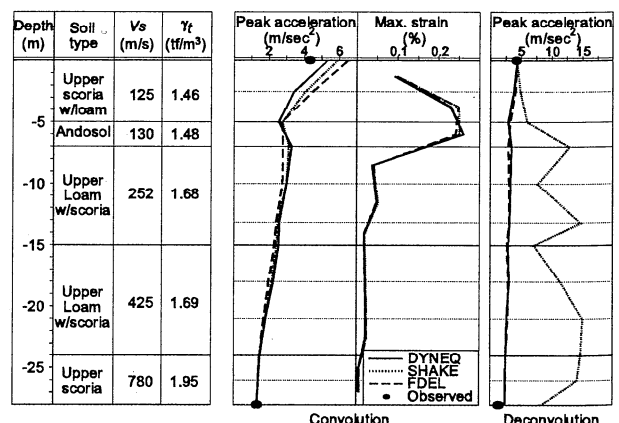


図-1 新富士変電所地盤モデルと最大応答値

Applicability of equivalent linear method considering frequency dependent characteristics

Sato Kogyo Co., Ltd., Nozomu YOSHIDA, Iwao SUETOMI Hokkaido University, Satoshi KOBAYASHI, Kinya MIURA

提案した解析手法は、convolution 解析では1%を越えるひずみまで適用でき、他の手法より精度良い結果を与えることがわかった。また、convolution 解析より deconvolution 解析の方が敏感である。

参考文献 1) Kobayashi, S., Yoshida, N., and Miura, K. (2000): Equivalent linear analysis considering large strains and frequency dependent characteristics, 12WCEE, Paper No. 1832
2) 田蔵隆, 佐藤正義, 畠山昭 (1987) : 強震記録に基づく地盤の非線形地震応答解析, 第19回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 101-104 3) 吉田望, 田蔵隆, 鈴木英世 (1995) : 地盤の非線形地震応答解析手法の比較, 第23回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 49-52 4) 吉田望 (1995) : 1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析, 土と基礎, Vol. 43, No. 10, pp. 49-54

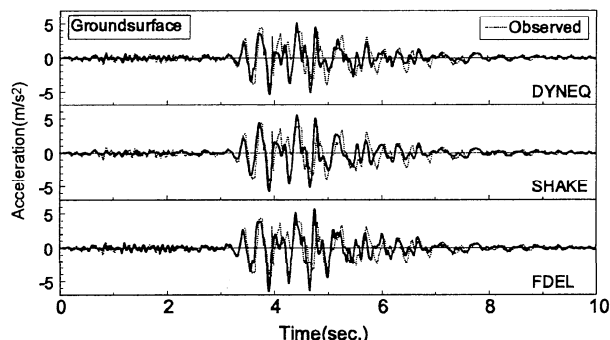


図-2 地表の加速度時刻歴の比較

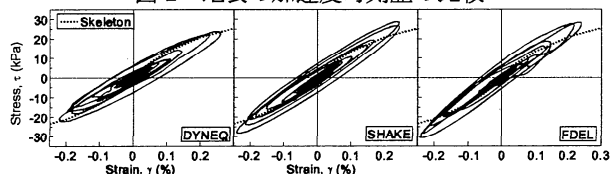


図-3 応力-ひずみ関係の比較

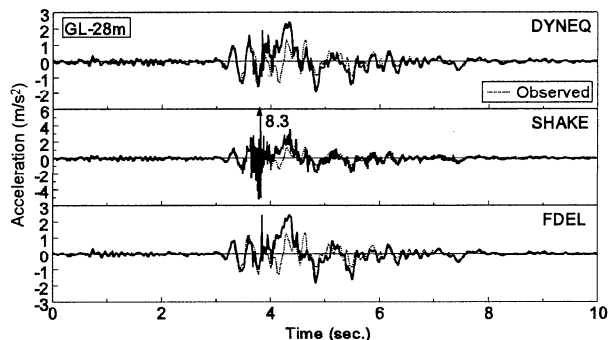


図-4 基礎の加速度時刻歴の比較 (deconvolution)

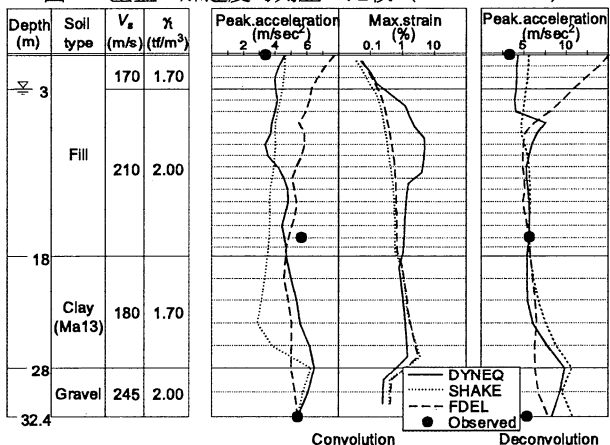


図-5 ポートアイランドモデルの最大応答値

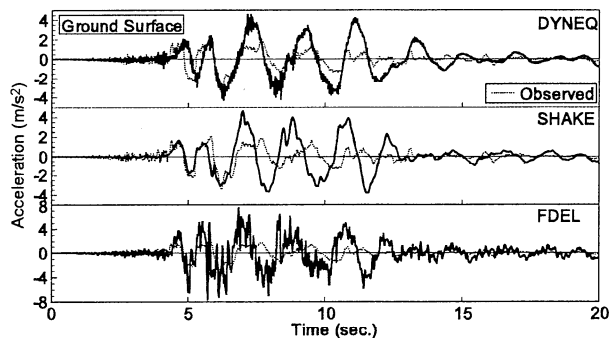


図-6 地表の加速度時刻歴の比較

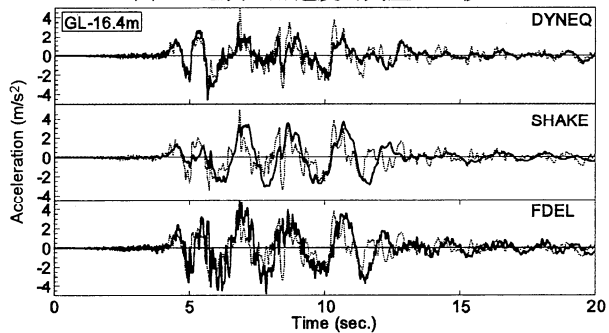


図-7 GL-16.4mの加速度時刻歴の比較

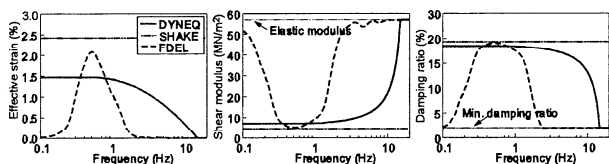


図-8 Ma13層の周波数依存性

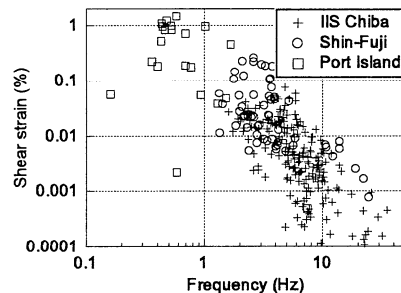


図-9 ゼロクロス法によるひずみ振幅と周波数の関係

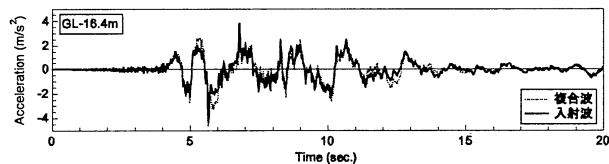


図-10 複合波と入射波の比較

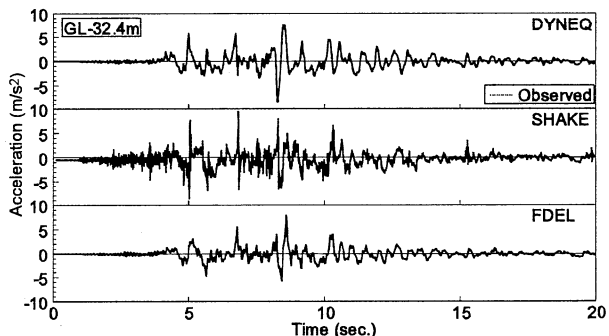


図-11 基礎の加速度時刻歴の比較 (deconvolution)