

1 はじめに

地震応答解析は、地震時の地盤や構造物の挙動を予測のための重要なツールである。地震応答解析にはいくつかの手法があり、異なる手法では結果が異なるが、これまでは、この手法ごとに適用性が検討されることが多く、いくつかの手法で比較したものは少ない。筆者の一人は、各種の手法を比較したことがあるが¹⁾²⁾、いくつかの問題点があった。

その一つは、精度の評価方法である。精度を評価する最も適当な方法は観測値と比較することであるが、多くの論文では、観測値と比較して、地表の最大加速度が一致する、波形が似ているなどが評価の基準となってきた。しかし、地盤の地震応答解析は多くの用途に用いられており、その用途によって、要求される地震動の評価方法が異なる。しかし、既往の研究では、各種の手法に対する精度を議論したものはほとんどない。また、精度を論じるには定量化できる量で比較する必要がある。

本研究では、各種の地震動指標を比較し、手法による違いを明らかにすることを目的とする。

2 地震応答解析手法

地盤の地震応答解析は、全応力地震応答解析を用いる。全応力解析には、等価線形化解析と非線形解析がある。等価線形化解析は、剛性と減衰を評価するための有効ひずみの求め方によりいくつかの方法があり、ここでは、SHAKE³⁾、FDEL⁴⁾、DYNEQ⁵⁾の三つの手法を用いる。なお、本来これらの名称は解析コードの名称であるが、ここでは手法名として用いる。また、実際の解析はいずれの手法も用いることができる、DYNEQ⁶⁾を用いる。

非線形法は、材料の応力 - ひずみ関係の非線形性によって変化する瞬時の剛性を用いて解析するものであり、DYNES3D⁷⁾を用いる。応力 - ひずみ関係は、吉田・石原の提案⁸⁾に基づく、与えられた動的変形特性を完全に満たすモデルを用い、動的変形特性は安田・山口の提案式⁹⁾を用いる。

これらの手法の違いは、基本的には応力 - ひずみ関係の違いであると考えられる。

精度の評価は、最大絶対加速度、最大絶対速度、最大相対変位、計測震度、SI 値の 5 つを用いて行う。

3 解析対象

3.1 解析サイト

過去に宮城県沖地震に関係して用いられた地盤¹⁰⁾の内、以下の 10 のサイトを解析対象とする。

阿武隈橋、吉田川右岸、笈入地区、荒浜ポンプ場、石巻漁港、石巻漁港(改良後)、南仙台、名取川閑上地区、名取川中村地区、鳴瀬川

3.2 地震波

過去に実務などで多く用いられている著名地震波と模擬地震動などから、以下の 7 つを用いる。

EL-Centro 1940 NS、開北橋(1978年宮城県沖地震、橋軸方向)、八戸港湾事務所(1968年)、苫小牧(2003年十勝沖地震)、臨海部 L2¹¹⁾、高層建築¹²⁾、新富士¹³⁾

4 解析結果と考察

図 4.1 ~ 図 5.2 に SHAKE に対する比として各種指標の違いを示す。また、横軸はケース番号で、1 ~ 7 は同じ地盤に対して異なる地震動を作用させたときという順番に並んでいる。

図 4.1 は最大加速度を比較している。DYNEQ、DYNES の結果は SHAKE の加速度より小さく、FDEL の結果は SHAKE の加速度よりも大きくなる傾向がある。これらは文献 6)でも指摘されているが、特に FDEL は大きい加速度となっている。

図 4.2 には最大速度、図 4.3 には最大変位を比較している。最大速度は DYNES を除き同じレベルである。DYNES が大きいのは、絶対速度を求める際に数値積分手法と同じ手法(Newmark の β 法)で基盤速度を求めているがこの際のドリフトの影響が考えられる。また、最大相対変位でも DYNES は大きい、これは、非線形法では残留変位が現れるのに対して、等価線形化法では残らないことが影響している。比較の際の注意事項といえよう。最後に、等価線形化

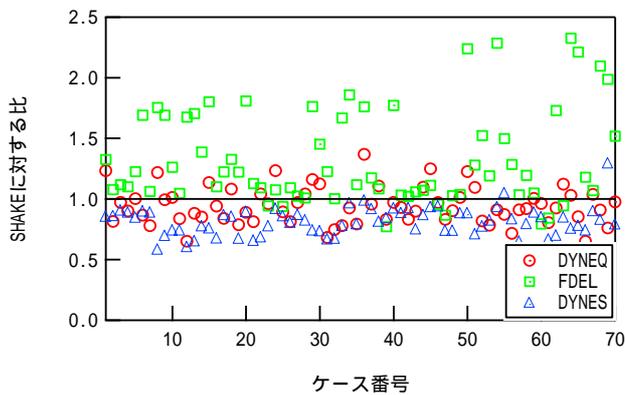


図 4.1 加速度の比較

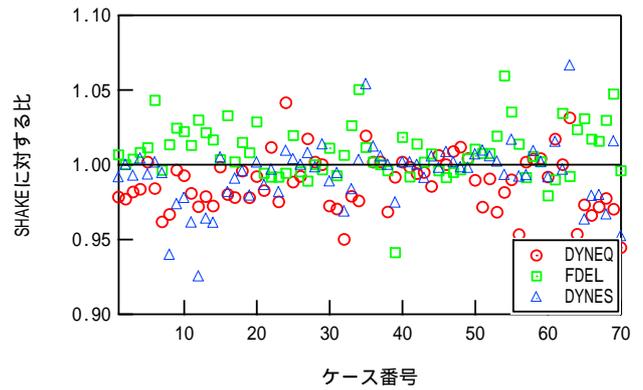


図 5.1 計測震度の比較

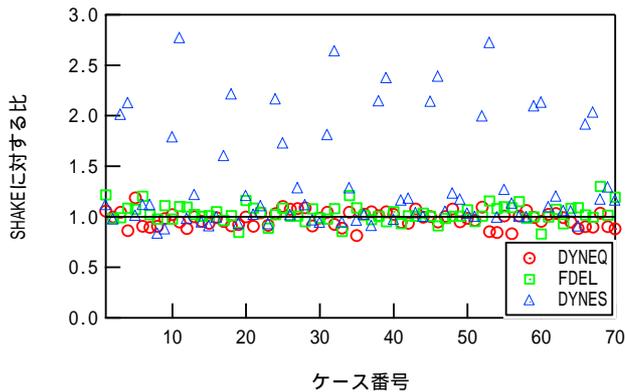


図 4.2 速度の比較

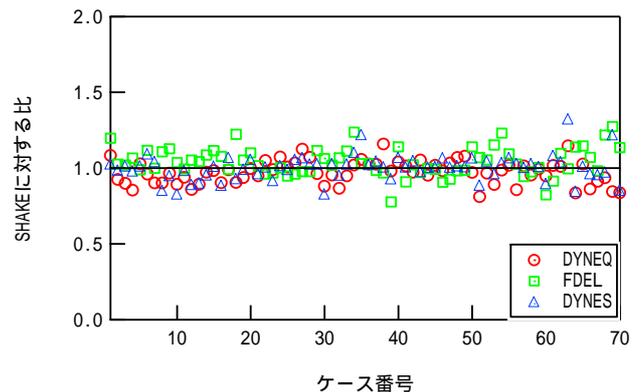


図 5.2 SI 値の比較

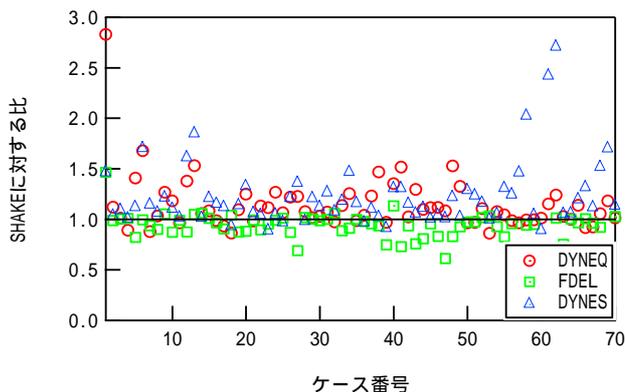


図 4.3 変位の比較

法の中では、DYNEQ の変位が大きめであるが、用いている強度が一番小さいためと考えられる。逆に FDEL の変位は小さい。

図 5.1 は計測震度、図 5.2 は SI 値を比較している。計測震度はどの手法でも大きな差はない。SI 値も 10% 程度の範囲で、手法による差は小さい。

5 まとめ

加速度、速度、変位は手法による差がある。これに対して、計測震度と SI 値は手法による差は少ない。また、同じ地盤でも地震動の違いにより傾向が異なる。なお、速度や変位のように、比較する際に注意を要する事項もある。

参考文献

- 1) 吉田望 (2005): 地盤の非線形性と液状化, 第 26 回地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, pp.65-82
- 2) 吉田望, 澤田純男, 中村晋 (2006): 日本地震工学会論文集 第 6 巻, 第 4 号, pp.55-73
- 3) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972): SHAKE A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley
- 4) 増田民夫: 周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察
- 5) Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
- 6) 吉田望 (2008) DYNEQ A computer program for DYNAmic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, <http://boh0709.ld.infoseek.co.jp/>
- 7) 吉田望: DYNES3D, A computer program for dynamic response analysis of level ground by effective stress-nonlinear method, Version 2.73 July 2007, (Original version May 1995)
- 8) 吉田望, 辻野修一, 石原研而 (1990): 地盤の 1 次元非線形解析に用いる土のせん断応力 - せん断ひずみ関係のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp. 1639-1640
- 9) 安田進, 山口勇 (1985): 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会講演集, pp. 539-542
- 10) 土木研究所, 国土開発研究センター (1996): 兵庫県南部地震における液状化・非液状化事例に基づいた液状化判定法の妥当性に関する調査報告書
- 11) 入力地震動部会, 臨海部構造安全委員会 (1992): 臨海部における大規模建築物群の総合的な構造安全に関する調査・検討のうち動的設計用入力地震動の設定に関する検討報告書, 日本建築防災協会
- 12) 高層建築物構造判定委員会 (1986): 高層建築物の動的解析用地震動について, ビルディングレター, pp. 49-50
- 13) 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