

大規模地震を想定した場合の表層地盤の応答解析法の比較検討

山口大学 工学部 正会員 山本哲朗 兵動正幸 三浦房紀
中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○ 片山吉史

○ はじめに

最近、全国各地の自治体で、大規模地震による被害想定が行われている。検討手順は、対象としている地域で問題となる震源を仮定し、震源特性および震源との位置関係から各個所ごとに工学的基盤レベルに入力される地震動を決め、各個所を代表するような表層地盤モデルに対し地震応答解析を実施し、地表面応答加速度あるいは地盤内に発生したせん断応力から震度、液化化危険度、各種構造物に対する危険度の分布を評価し、地震に対する危険度を平面的な分布として捉えるものである。

本報告では、被害想定のうち表層地盤の地震応答解析において、現在提案されている解析法並びに地盤の非線形モデルを用いて解析を行い、解析によって得られる地表面加速度、震度、地盤内せん断応力について比較検討を行うものである。

○ 地盤応答解析法

現在、地盤の応答解析法として、周波数応答解析法、時刻歴直接積分法、地盤の材料特性には全応力線形、全応力等価線形、全応力修正等価線形、全応力非線形、有効応力非線形などが提案されている。被害想定のように広域を対象とするためには大量の応答解析が必要とされ、これまでSHAKEによる解析法が採用されてきた。一方、大規模地震を軟弱地盤に入力する場合には、SHAKEによる解析結果は地盤の非線形性の影響が過度に入る傾向が指摘されている。本検討では、表-1に示す6ケースの解析を行った。

○ 地盤応答解析法の比較

本検討で対象とする地盤は、地層構成およびN値から作成した表-2,3に示す2ケースで、地盤モデル1は、沖積層13mの比較的軟弱な平野部の地盤を、地盤モデル2は、表層2mのみが砂層である山地部の地盤を代表している。工学的基盤からの入力加速度波形を図3,6に示す。最大加速度は、それぞれ399.88galおよび542.26galである。

地盤モデル1に対する解析結果である最大加速度の深度分布、最大せん断応力の深度分布および地表面加速度波形をそれぞれ図-1,2,3に示す。同様に地盤モデル2に対する結果を図-4,5,6に示す。SHAKE（等価線形）による結果は、FDELによる結果に比べ地表面最大加速度が1/2程度である。さらに、SOILによる結果は、SHAKEによる結果より加速度、せん断力ともに低い値となっている。地表面加速度の時刻歴図を見ると、線形解析では短周期成分が卓越しており、SOILを用いた解析では長周期成分の卓越が顕著であることが分かる。これらの原因は線形解析では地盤の非線形性が全く評価されておらず、逆にSOILによる結果は非線形性の評価が過大となっているためである。FDELにおけるH-Dモデルと土研モデルの材料非線形による差は、各解析法間の差に比べると大きいものではない。

地表面加速度波形から計測震度を算定する際には、フィルター処理後の波形に対し等価加速度（継続時間合計0.3秒の加速度）を求め計測震度を算定する。図-7,8に各解析ケースの地表面最大加速度、フィルター処理後の最大加速度および等価加速度の値を示す。FDELと線形解析を除く解析ではフィルター処理によって最大加速度の低下が20%程度であるのに対し、FDELでは45%程度と大幅に低下している。これは、FDELによる加速度の最大値は、ヒゲ状のピーク値でありフィルター処理によってこれら最大値を示す高周波数成分が消されているためである。計測震度を算定すると地盤モデル1では、線形解析が6.38であるのに対しその他の手法では5.18～5.69とほぼ同程度の評価となっている。地盤モデル2についても同様に線形解析が6.66であるのに対し他手法では5.51～5.94である。SHAKE（等価線形）とFDEL（H-Dモデル）の差は、地盤モデル1で0.32、地盤モデル2で0.15であり、震度階級の5弱～6強間は計測震度0.5ピッチで区切られているのでFDELとSHAKEの震度階級の評価においては両者で1ランクの差があることも考えられる。

表-1 解析ケース

材料特性	解析法	材料種別
全応力修正 等価線形	重複反射理論 (FDEL [®])	H-D種別 土研種別
全応力非線形	直接積分法 (SOIL [®])	修正H-D種別 R-O種別
全応力等価線形 全応力線形	重複反射理論 (SHAKE [®])	土研種別 線形

注) ()内は解析に用いたプログラム名

表-2 地盤モデル1

土質名	層厚 m	単体重量 t/m ³	せん断波速度 m/s
砂質土	3.0	2.00	137
砂質土	10.0	1.95	172
砂礫	7.0	2.10	342

表-3 地盤モデル2

土質名	層厚 m	単体重量 t/m ³	せん断波速度 m/s
砂質土	2.0	1.80	137
砂礫	8.0	1.90	363

- ◆ FDEL (H-D)
- FDEL (土研種別)
- ▲ SOIL (修正H-D)
- × SOIL (R-O)
- × SHAKE (土研種別)
- 線形解析

図-1 最大加速度分布 (地盤種別#1) gal

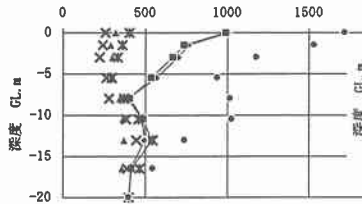


図-4 最大加速度分布 (地盤種別#2) gal

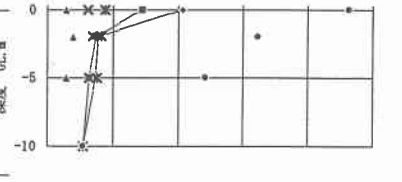


図-2 最大せん断応力分布 (地盤種別#1) tf/m²

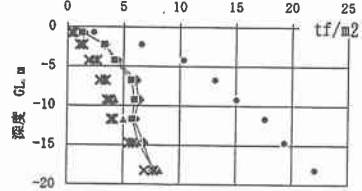


図-5 最大せん断応力分布 (地盤種別#2) tf/m²

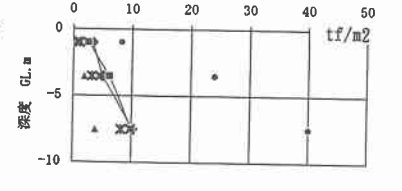


図-7 地表面最大加速度 (地盤種別#1)

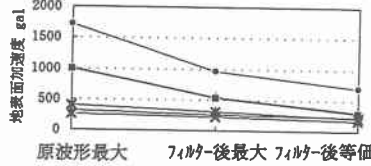


図-8 地表面最大加速度 (地盤種別#2)

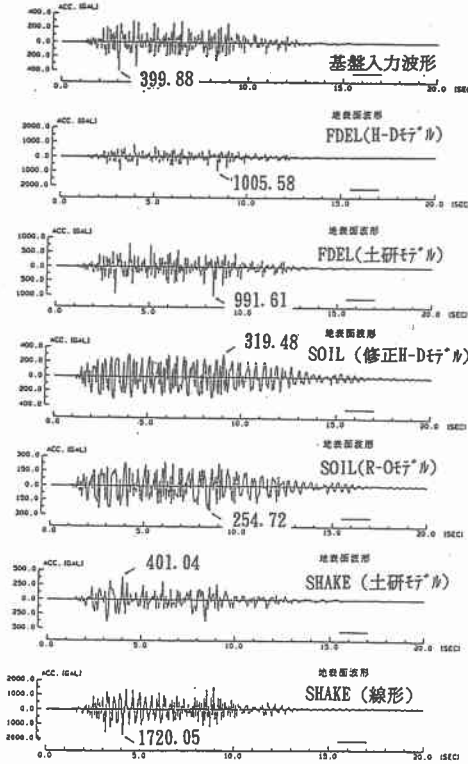
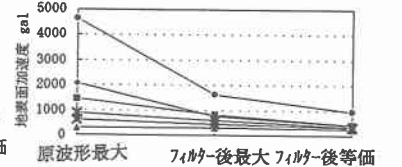


図-3 地表面加速度波形 (地盤種別#1) gal

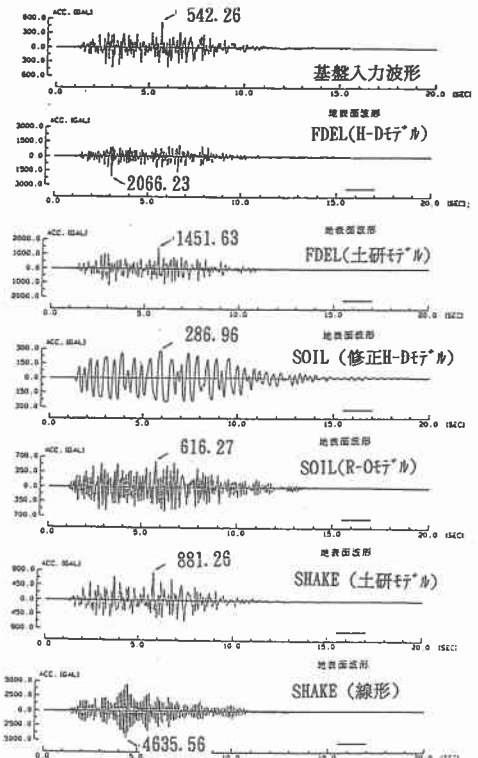


図-6 地表面加速度波形 (地盤種別#2) gal

参考文献

- 1) 杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫: 周波数特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, 土木学会論文集NO.493/III-27, pp.49-58, 1994.6
- 2) 兵動正幸, 山本陽一: 非線形地震応答解析プログラムSOIL, 1996.7
- 3) P. B. Schnabel, J. Lysmer and H. B. Seed: SHAKE a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, EERC, 72-12, 1972