

I-433 建屋の非線形性を考慮に入れた2次元建屋地盤系液状化解析

清水建設(株) 大崎研究室 正員 大槻 明

1. はじめに 近年繰り返し荷重下の挙動を説明できる構成式も提案されてきており、地震時などの動的問題の有効応力解析も徐々に行われつつある。しかし、特に二次元動的問題においては土の構成式は複雑であり、計算時間、計算容量の多大さから、実地盤を対象とした地震応答解析はまだあまり行われていない。著者は1つの試みとして、最近の弾塑性モデルの中からCapモデルおよび西モデルを取り上げ、不整形地盤の大地震時挙動や建屋を含む液状化解析を行ってきた¹⁾。本報文では、建屋の非線形性を考慮に入れるため上述の理論を拡張し、中詰砂地盤および密な砂地盤を対象とした建屋地盤系液状化解析を試みた。

2. 二次元液状化解析手法の概要 本研究では、効率よくかつ実際に近いモデルを解析できる手法という観点から、透水性を考慮しない有効応力法の二次元液状化解析手法を用いる。この解析手法では、地盤の剛性に比べかなり剛な構造物を含む解析モデルを対象としていることから、陽解法と陰解法による混合解法を非線形解析手法として使用した。また、体積ひずみ零の条件を使い、非排水条件下の間隙水圧量を推定し有効応力解析法を行った。土の構成式としては、西モデル²⁾を二次元平面ひずみ条件下で使用した。

3. 建屋地盤系液状化解析 二次元モデルへの本手法の適用例として図-1に示す解析モデルを考えた。解析地盤の表層は、中詰砂($\alpha=0.57, \lambda=0.018, \kappa=0.004, \phi_f=35^\circ, \phi_m=30^\circ$)、および密な砂($\alpha=0.70, \lambda=0.010, \kappa=0.0038, \phi_f=45^\circ, \phi_m=32^\circ$)の二種類を考え、それぞれの地盤定数は文献2を参考に決定した。表層地盤の初期せん断剛性分布は、図-2に示す定数を用い、基盤は弾性体($G=3.2 \times 10^4 \text{tf/m}^2$)とした。建屋は図-3に示すバイリニヤー型バネを用い、3質点バネ-マス系としてモデル化した。建屋の固有周期は約0.3秒で、建屋の減衰としては、建屋一次のモーダルダンピング5%相当を考えたレーリー減衰を用いた。

まず、El Centro波を入力し中詰砂に対する液状化解析を行った。地盤および建屋の応答加速度波形を図-4に示す。基盤では水平方向加速度は140galとなり、地表では207galの最大加速度が生じている。時刻3秒付近からは表層地盤の液状化に伴い地表の加速度は減少している。建屋については、基礎上で173gal、3階で341galの最大加速度が生じている。建屋基礎直下の表層地盤のせん断ひずみ、せん断応力、間隙水圧の波形を図-5に示す。時刻2秒後に間隙水圧の顕著な蓄積が認められる。せん断ひずみは地盤の応答が最大となる時刻2秒付近で、 0.25×10^{-3} 程度発生しており、その後、地盤の加速度は減少しているが、せん断ひずみはいぜん大きな値を示している。図-6にはせん断ひずみとせん断応力の関係を、図-7には有効応力経路($\tau_{oct} \sim \sigma'_m$)をプロットした。これらの図より間隙水圧の蓄積に伴いせん断剛性の低下が認められる。建屋の層せん断力と層間変位量の関係を図-8に示した。建屋の応答は非線形領域に入っているが、建屋は強い非線形性を示していない。これは、本解析では建屋の層間変位量は比較的小さいこと、また、地盤の応答が2秒付近で最大となりその後は小さくなることから、建屋の応答もこれに追随する形となっていることなどの理由が挙げられる。

次に、密な砂の場合について液状化解析を検討した。地盤および建屋の加速度波形を図-9に示した。地表では220galの加速度が生じており、密な砂に対する地表の加速度は中詰砂の場合よりも若干大きな加速度となっている。時刻5秒付近の加速度は中詰砂の場合に比べると大きく、地盤の液状化に伴う振幅の減少はみられない。一方、建屋の加速度は中詰砂の場合に比較して若干小さく、建屋上部で295galが生じている。これは入力加速度の増大に伴い建屋の非線形性が影響していることも原因の1つと考えられる。図-10には地盤のせん断ひずみ、せん断応力、間隙水圧の波形を示した。図-11にはせん断ひずみとせん断応力の関係を、図-12には応力経路をプロットしたが、これらの図より密な砂の場合には、間隙水圧の蓄積は少なく、せん断剛性の低下も小さいことが分かる。密な砂および中詰砂の加速度応答は比較的類似しているが、これは、表層地盤のせん断剛性の著しい低下がなかったためと考えられる。しかし、密な砂に対する

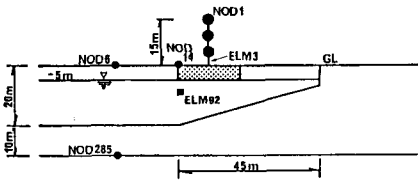


図-1 建屋地盤系解析モデル図

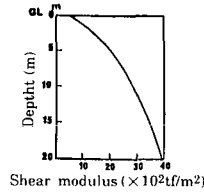


図-2 表層地盤の初期せん断刚性分布

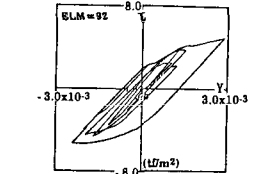


図-6 せん断ひずみとせん断応力の関係

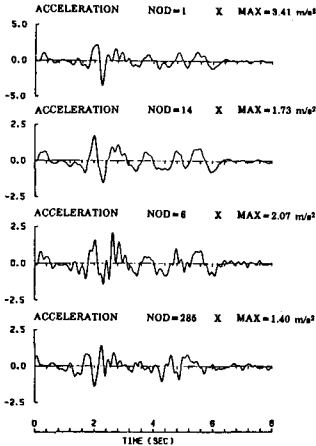


図-4 地盤および建屋の加速度波形（中詰砂）

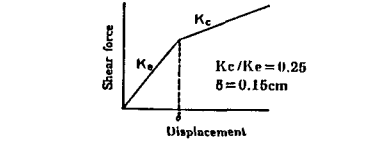


図-3 建屋モデルに用いたバネ特性

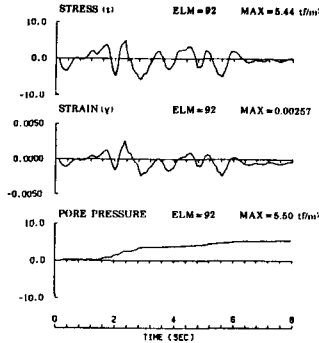


図-5 せん断応力・せん断ひずみ
間隙水圧の波形

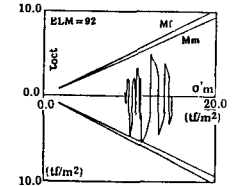


図-7 有効応力経路

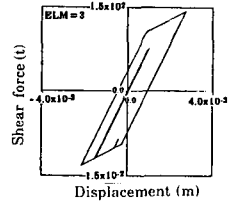


図-8 建屋1階の層せん断力と層間変位量の関係

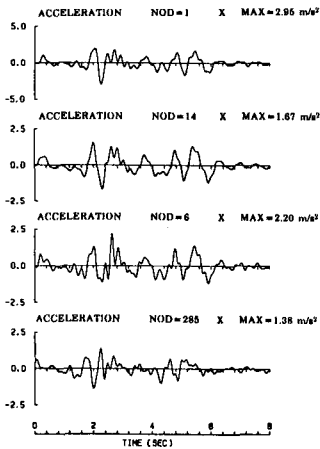


図-9 地盤および建屋の加速度波形（密な砂）

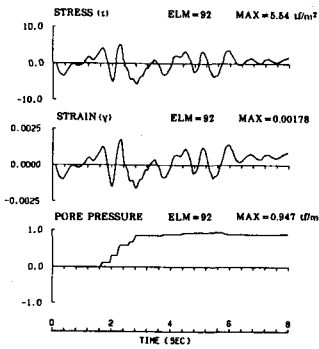


図-10 せん断応力・せん断ひずみ
間隙水圧の波形

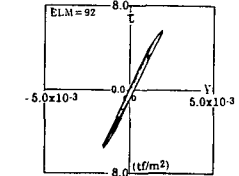


図-11 せん断ひずみとせん断応力の関係

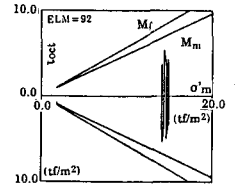


図-12 有効応力経路

せん断ひずみについては中詰砂の場合の約0.65倍、また、間隙水圧は中詰砂の場合の約0.15倍程度となっており、両者に差異が認められる。

5. まとめ 本解析結果は一解析例であるが、液状化過程における建屋を含む周辺地盤の挙動を定性的に表現しており、本手法の建屋地盤系の液状化解析への適応が有効であると考えられる。今後は、変相角を越えた領域の詳細な検討あるいは実験結果との比較や他の構成式を用いた比較等による実証的検討が必要である。

参考文献 1) 大槻明・渡辺浩平・竹脇尚信, 不整形地盤における二次元建屋地盤系液状化解析, 土木学会論文集, 第368号, pp113~122, 1986 2) 西好一, 非排水繰返し荷重下における飽和砂の弾塑性挙動と構成式, 土木学会論文報告集, 第319号, pp115~128, 1982