

1. はじめに

大きな非線形挙動を伴う液状化地盤の非線形解析の手法は十分に安定した結果を得るレベルに至っておらず、液状化の発生メカニズムなどについては研究途上の部分が含まれており、モデル化も解析者の判断で差がでることも起こる。兵庫県南部地震をはじめとする近年の多くの地震において、地震の液状化が典型的な砂だけでなくシルトを多く含んだ砂質土から礫を多く含んだ砂質土まで、多様な土質で発生していることが明らかになった。しかしながら、ポートアイランドや沿岸の埋め立て地盤を構成したまさ土からなる砂礫土でN値 15~20 程度以上の改良地盤を除いた場所に対し、液状化判定法が考慮できないのが現状である。また、表層地盤が液状化する過程で地表加速度が大幅に低減する現象が地表観測により確認され、地震加速度で液状化を判定することに問題がある。中村の対象とする地盤に対して、繰り返し3軸試験結果もなく、解析に要するデータは土質柱状図のN値しかないため、研究者の立場としては解析に対する疑問もある^{1)~3)}。一方、来襲するであろう南海地震に備えて実務的に地震応答解析を行い、あらかじめ対策を講じることが急務である。

そこで、本論では予備解析で土質試験を行わなくても、任意の深さの地盤の液状化を判定することができるよう数値シミュレーション方法に工夫をして、変相角、内部摩擦角、水圧上昇パラメータと有効応力の減少との関係などについて求めた。次いで中村市街の代表的な地盤を採り上げ、有効応力の減少と間隙水圧の上昇による動的解析手法を用いて液状化するかどうか予測する。

2. 解析方法

ひずみに依存する非線形性や繰り返しせん断を受けることによる過剰間隙水圧の発生と消散や、その過程で地下水も考慮できる有効応力解析を図-1 に示す高知県中村市中村高等学校の地盤で行う。あらかじめ行ったテストピースの数値シミュレーションにより図-3 のようなテスト結果を用いて次の知見を得た。変相角を 26° 、 32° 、 40° 、内部摩擦角を 40° 、 45° 、 50° に変えても有効応力は減少しない。水圧上昇パラメータを 0.02, 0.06, 0.10 と変えると水圧上昇パラメータが小さい程、有効応力は減少する。せん断振幅が大きいと変相角が影響し、小さいと水圧上昇パラメータが影響する。そこで、有効応力による地震応答解析では図-2 に示すよう¹⁾に、せん断変形についての応力-ひずみ関係のモデル以外に、間隙水圧発生に関するモデルおよび透水モデルも同時に組み込んだ動的解析を行った。Biot の式は、水平方向の運動方程式と鉛直方向の水の移動を表す透水方程式に分けられている。しかも、この3者を常に関係づけて置かねばならないため、ここでは0.01秒ごとに、応力の計算→間隙水圧の計算→有効応力の変化に合わせた応力-ひずみ関係の再設定→応力の計算を繰り返している。解析に用いた運動方程式は省略する。入力地震波形は兵庫県南部地震時に鷹取（第2種地盤）で観測された波形を用い、最大加速度振幅を 100gal, 150gal, 200gal, 640gal（観測値）と4段階に変化させ工学的基盤より入力し、どのレベルで液状化するかを求めて用いる。

3. 解析結果とまとめ

地震入力加速度 100gal, 150gal, 200gal, 640gal の有効応力と過剰間隙水圧、復元力特性曲線の結果を図-4,5,6,7 に示す。復元力特性曲線と応力経路は液状化したと思われる地点(GL-7.5m)を代表として示す。最大加速度振幅 100gal を入力したときは、有効応力が低下し液状化進行状態になるが完全液状化には至らない。150gal 入力時は、GL-6.0~9.3m の細砂層が液状化した。200gal 入力時は、GL-5.0~14.0 の砂を含んだ層は完全液状化した。入力加速度振幅を 640gal としたときは GL-5.0~15.0 の砂層全層が完全液状化した。したがって、100gal 程度の入力では液状化しないが、これを越えると液状化する層があることがわかった。

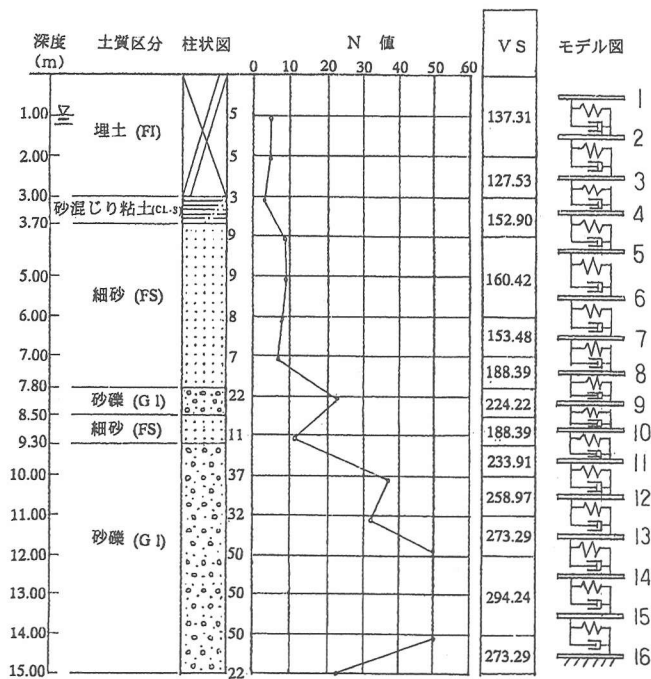


図-1 対象地盤とモデル化

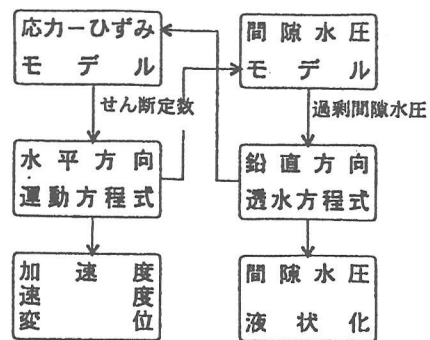


図-2 透水を考慮した有効応力解析のフローチャート

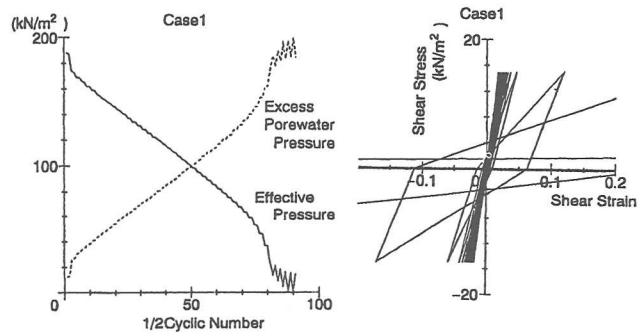


図-3 テストピース解析の代表例

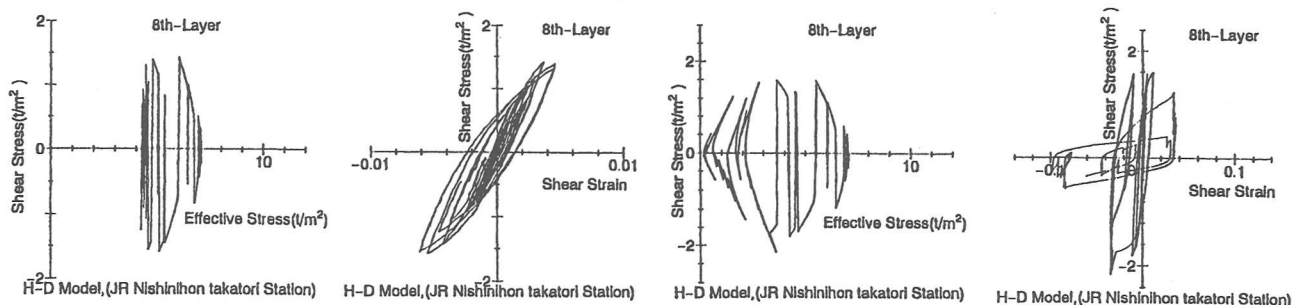


図-4 最大加速度100gal入力

図-5 最大加速度150gal入力

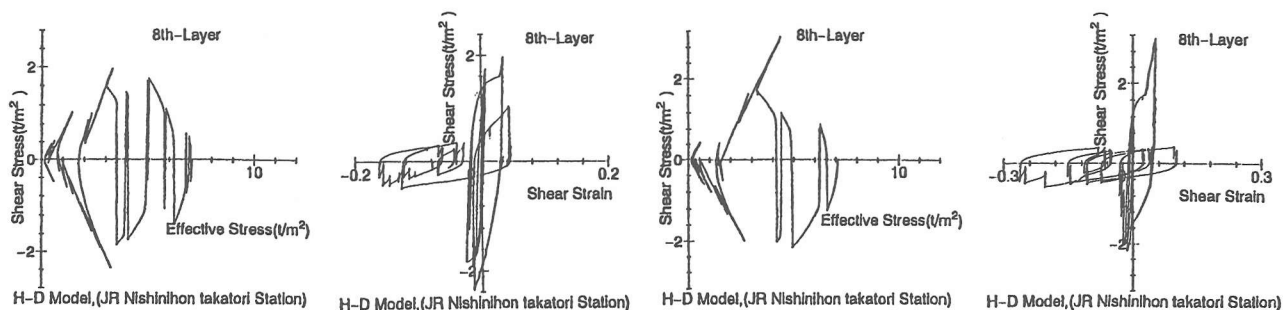


図-6 最大加速度200gal入力

図-7 最大加速度640gal入力

参考文献

- 1) Msaaki YOSHOKAWA et al.: Seismic Behaviour of Pile Groups by Hybrid Experiments, EESD, Vol. 20, pp. 895~909, 1991.
- 2) 中野雅弘、服部浩明、斉藤進、吉川正昭: EFFECTIVENESS OF TECHNIQUES FOR STABILIZING OUTSIDE TELECOMMUNICATION FACILITIES AGAINST LIQUEFACTION, Proceeding of 9th World Conference of Earth quake Engineering, Tokyo-kyot (Vol. VII), pp. 41~48, 1988. 8.
- 3) 中野雅弘、吉川正昭、斉藤進、荒野正信: 電柱基礎地盤の液状化対策に関する実験的研究、土木学会論文集 (第404号/I-11), pp. 405~413, 1989. 4.