

I-28 観測地震波を用いた高知市地盤の地震応答解析 —非線形解析と等価線形解析—

高知工業高等専門学校 建設システム工学科 吉川正昭
前橋工科大学 建設工学科 西内啓太

1. はじめに

兵庫県南部地震での構造物の大きな被害を契機に、地盤の地震時挙動解析法は大きく変化している。その変化の例として地盤の液状化解析が挙げられる。液状化とは、室内試験で飽和した土に非排水状態で繰り返しせん断を加えると、間隙水圧の上昇とともに有効応力が低下する現象であり、実際の地震時地盤においても境界条件にはよるが、同様の現象が生じる。本論ではこのような現状を考慮しつつ高知市本町の地盤を取り上げ、いくつかの地震応答解析を行った。

- 1-1. 非線形逐次積分法による有効応力解析 第1解析として非線形逐次積分法による有効応力解析手法を対象地盤に適用した。この解析手法の特徴は、与えた観測地震波に対する地盤応答が時間領域で出力され、液状化の判定ができる点にある。
- 2-1. 三軸試験値に対する要素シュミレーション手法 第2解析として三軸試験値に対する要素シュミレーション手法を対象地盤に適用した。この解析手法の特徴は、地盤の一部分に対し繰り返し三軸試験結果(第1解析のデータとして使用される)の試験値解析ができる点にあり、入力する三軸試験値を変化させることで液状化に対する試験値の影響を推し量ることができる。
- 3-1. 等価線形化法を用いた全応力解析 第3解析として、等価線形化法を用いた全応力解析を対象地盤に適用した。この解析手法の特徴は、材料特性が経時変化せず任意の層の応答値を扱うことができ、与えた観測地震波に対する地盤応答が周波数領域でも出力される点にある。この解析では液状化判定は行えないものの、地盤の固有振動数を知ることができる。

以上ような解析手法の結果を用いれば、対象地盤に対する多角的評価を下せるとともに、地震に対する有効な被害防止策を取ることも可能である。

2. 解析条件

対象地盤を図-1に示す高知市本町二丁目の地盤にとり、次の解析条件で地震応答解析を行う。

- 2-1. 非線形逐次積分法による有効応力解析 a) 入力地震波形は2波形(1998年5月23日に高知市で観測された地震波形と兵庫県南部地震時に神戸市須磨区鷹取で観測された地震波形)を用いた。b) 波形の最大振幅は100gal及び200galを適用した。c) 地盤中に火山噴出物であるシラスが含まれており、これが粘性土なのか砂質土なのか判別できなかったために、それぞれについての解析を要した。
- 2-2. 三軸試験値に対する要素シュミレーション手法 図-1に示す地盤の地下-6mの砂層に着目し、a) せん断応力-せん断ひずみ関係において、Hardin-Drnevich(双曲線)モデルとRamberg-Osgoodモデルの両方を採用した。b) 载荷において、一定振幅载荷(小振幅、大振幅)及びランダム载荷のを用いた。c) 有効応力経路においては、三軸試験値(B_u 、 B_v 、 κ)及び変相角 θ_s (有効応力の減少過程を表す変相線を支配する)の基準条件を仮定し、 κ と θ_s をそれぞれ、基準条件より大きい場合と小さい場合に变化させた。
- 2-3. 等価線形化法による全応力解析 入力地震波形として振幅10galの鷹取波形を適用した。その他、解析条件は变化させなかった。

3. 解析結果とまとめ

- 3-1. 非線形逐次積分法による有効応力解析 有効応力と過剰間隙水圧関係の結果(図-2, 3, 4, 5)において以下のような知見を得た。a) 高知の地震波のほうが液状化しやすい。b) 波形振幅の大きいほうが液状化しやすい。c) シラス地盤が粘性土のほうが液状化しやすい。
- 3-2. 地盤中の一層に対する有効応力解析 a) せん断応力-せん断ひずみ関係は液状化に関係しない。b) 载荷振幅の大きいほうが液状化しやすい。c) 水圧上昇パラメータ κ 及び変相角 θ_s が小さいほど地盤は液状化しやすい。
- 3-3. 等価線形化法による全応力解析 図-6に第1解析と第3解析の復元力特性曲線を、図-7にスペクトル出力の例を、図-8に地盤の固有振動数を表す増幅スペクトルをそれぞれ示す。復元力特性曲線は時間領域でのせん断応力を縦軸に、同領域でのひずみ横軸にとったものであるが、第1解析では曲線の中心が変化するのにに対し第3解析では変化しない。このことは第1解析が有効応力の経時変化とともに材料特性も変化するのにに対し、第3解析では材料特性が経時変化しないことを表している。材料特性が経時変化しなければ任意の層の応答値を扱うことができ、さらに、第3解析では周波数領域で解析が行えるため、図-8のように地盤の固有振動数を得ることができる。したがって、現在の地震応答解析における等価線形解析の併用は非線形解析を補足する点で有意義であると言える。

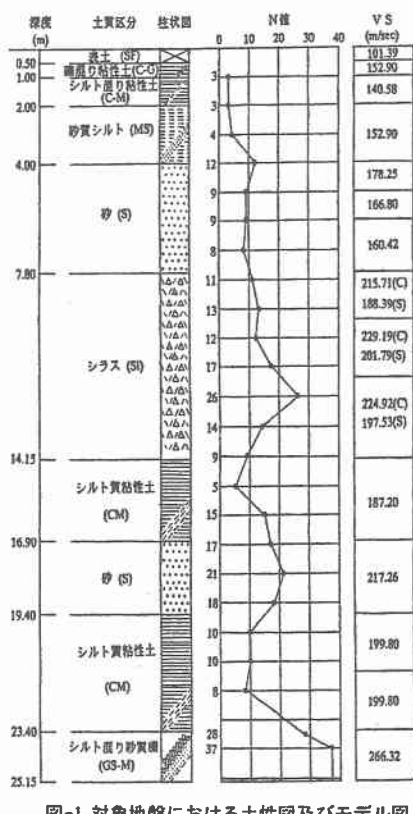


図-1 対象地盤における土性図及びモデル図

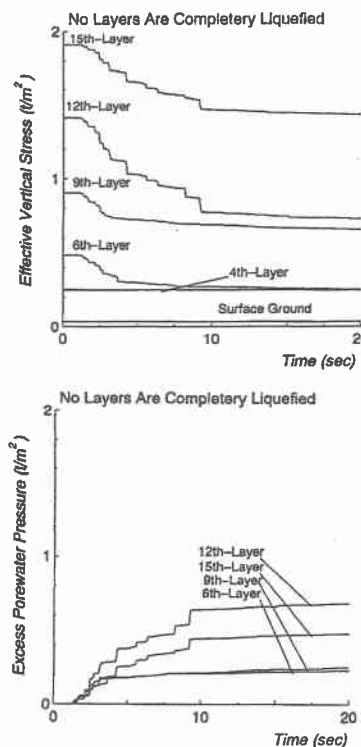


図-2 有効上載圧と過剰間隙水圧
(鷹取、200gal、砂質シルス)

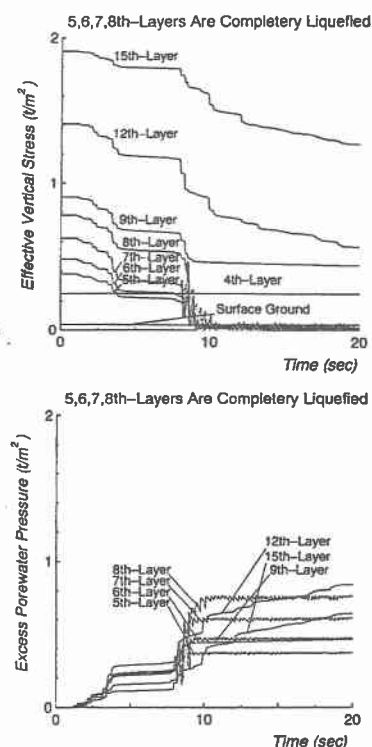


図-3 有効上載圧と過剰間隙水圧
(高知、200gal、砂質シルス)

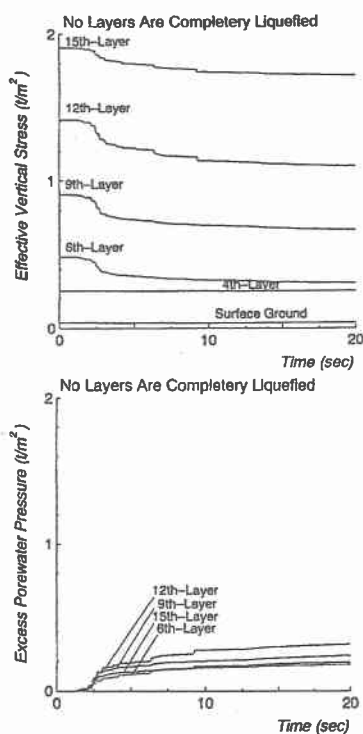


図-4 有効上載圧と過剰間隙水圧
(鷹取、100gal、砂質シルス)

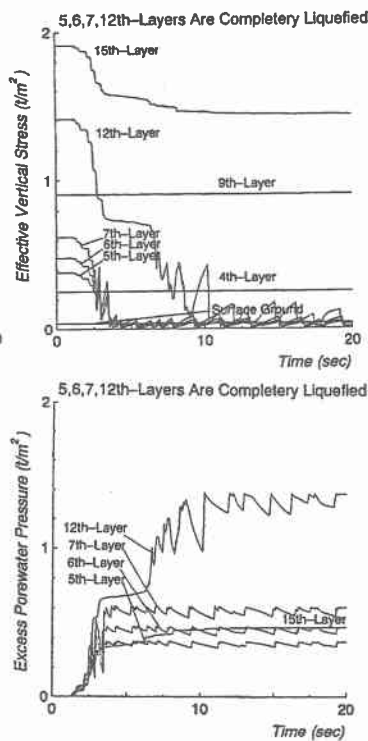


図-5 有効上載圧と過剰間隙水圧
(鷹取、200gal、粘性シルス)

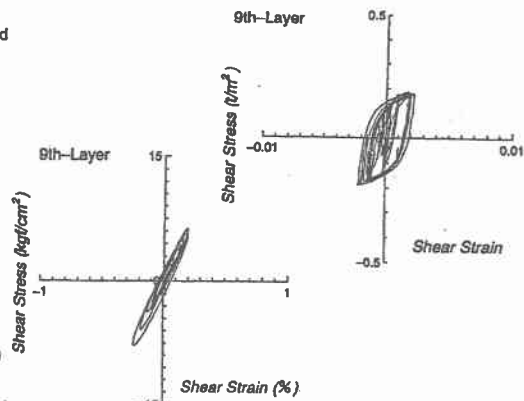


図-6 第1解析と第3解析の復元力特性曲線

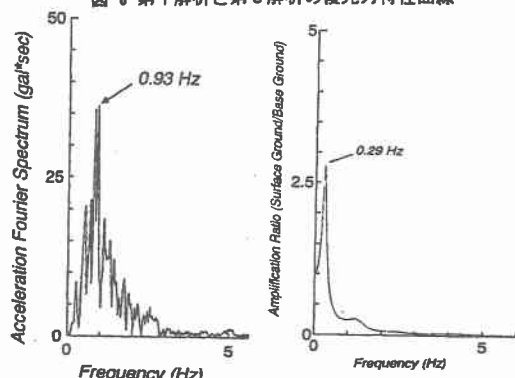


図-7 スペクトル出力の例 図-8 基礎から地表までの増幅スペクトル
(鷹取、10gal)

参考文献

- 1) 吉川正昭, 今西清志他: きたるべき南海大地震に備えて—安芸市自然災害想定調査—, pp. 1~154, 1997. 6.
- 2) 吉川正昭, 中村和弘他: 高知県安芸平野の液状化予測について, 地盤工学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 85~86, 1997. 11.
- 3) 吉川正昭, 和田純平: 中村地方地盤の液状化解析, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 54~55, 1998. 5.