

1-22 液状化地盤(はりまや橋周辺, 二葉町)の地震応答解析

ー全応力解析手法の検討と有効応力解析ー

高知高専建設システム工学科 吉川 正昭

○高知高専専攻科建設工学専攻 柿内 雅史

1. はじめに

2003年9月26日午前4時50分頃、北海道十勝沖を震源とする気象庁マグニチュード8.0の地震が発生し、十勝川水系の河川下流域に広がる軟弱地盤が多く堆積する沖積平野を中心に液状化が生じた。高知でも、海溝型の十勝沖地震と同様の、南海トラフでの地震が予想されており、液状化に対する検討が必要である。ここでは、K-netによる土佐市での芸予地震の観測地震波形を用いて、高知市はりまや橋周辺地盤を対象とした全応力解析手法の比較・検討および、全応力と有効応力解析による高知市二葉町地盤の地震応答解析を行った。

全応力解析手法の検討においては、前回の研究対象となったはりまや橋周辺地盤における基盤波を二種類の手法によって求め、両手法による結果を比較・検討した。

二葉町地盤については、全応力解析で求めた基盤波を用いて非線形の応力-ひずみ関係を逐次解析し、過剰間隙水圧、有効応力、有効応力経路など、時々刻々の応答値を求め、更に復元力特性の力学モデルとして、H-D(Hardin-Drnevich)モデルとR-O(Ramberg-Osgood)モデルの両者を用いて、地震応答解析を行い、考察を加えた。

2. 解析方法と解析条件

全応力解析手法の検討では、地震波動を入射波と反射波に分け、連続条件を用いることで、隣接する層の波動が漸化式として与えられることを利用して、水平成層地盤に重複反射理論を適用し、波動方程式を解き、水平一方向入力について地震応答解析を行う際に、等価剛性、等価減衰の値に対応する等価ひずみを地盤ひずみに依存させる吉川研の解析手法^{1)~2)}と周波数に依存させる杉戸研の解析手法³⁾の2種類を用いた。また、両解析手法は工学的基盤の層厚を反無限として取り扱っているが、吉川研の解析手法では地盤の基準ひずみの算定に拘束圧を考慮しないため、工学的基盤の層厚を与えないのに対し、杉戸研の解析手法では基準ひずみを拘束圧を考慮したH-Dモデルで算定しているため、計算上の層厚が必要であり、層厚として1.0mを与えた。

有効応力解析では、水平成層地盤の土と水を分離し、Biotの理論を用い水平方向運動方程式と鉛直方向透水方程式を非線形逐次積分法を用いて解き、復元力特性としてH-Dモデル(双曲線モデル)とR-Oモデル(骨格曲線モデル)の両者を採用し、地震応答解析を行った。対象地盤は、図1に示す高知市二葉町地盤を12層にモデル化し、入力地震波は、図2に示す芸予地震の土佐市での観測波(N-S方向、最大加速度は100galである)を用いた。

3. 解析結果と考察

全応力解析では、二種類の手法を用いて逆解析により地表での観測波から13層目の基盤波に変換して図3に示す。同図より、卓越する振動数は若干の差があるものの、5.9Hz近傍で同じとなり、最大応答加速度振幅は、解析手法1では70gal、解析手法2では71galと、こちらもほぼ同じ値となった。等価線形法を用いた全応力解析では、地盤内の応答ひずみが 10^{-3} から 10^{-2} を越えるような強非線形挙動に適用すると加速度を過大または過小評価し、精度面での課題から適用できないことが指摘されており、杉戸研の解析手法はこの欠点を改善すべく開発されたものであるが、今回のケースでは両解析手法における大きな相違はみられなかった。また、二葉町地盤の13層目の基盤波を図4に示す。

有効応力解析により求めた二葉町地盤の有効応力と過剰間隙水圧の時刻歴、復元力特性および有効応力経路を、H-DモデルとR-Oモデルについて図5、6に示す。同図は、基盤に逆解析により求めた基盤波の最大加速度を200galとして入力し、地震応答解析を行ったものである。液状化した層はH-Dモデルでは6層目、R-Oモデルでは6層目と7層目の2層であった。同図(b)、(c)より、両モデルの復元力特性曲線の形状はモデル化時の条件が異なるため、それぞれ異なっている。また、液状化した層の有効応力経路の形状は類似している。

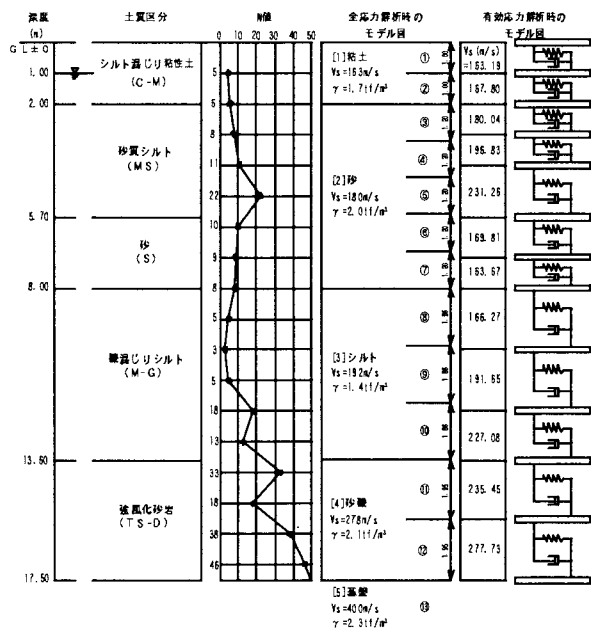


図1 土性図および地盤モデル

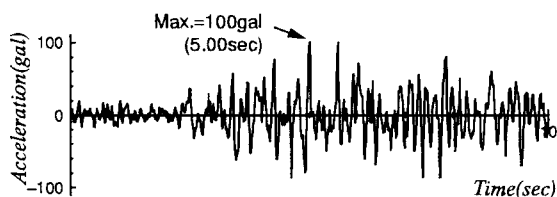
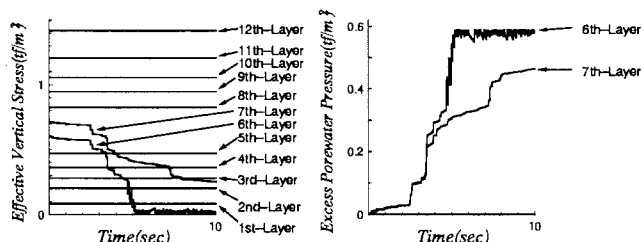
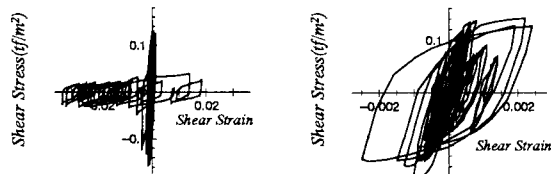


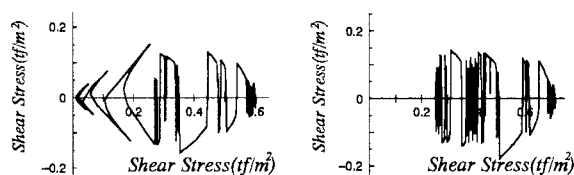
図2 観測地震波形



(a) 有効応力と過剰間隙水圧の時刻歴



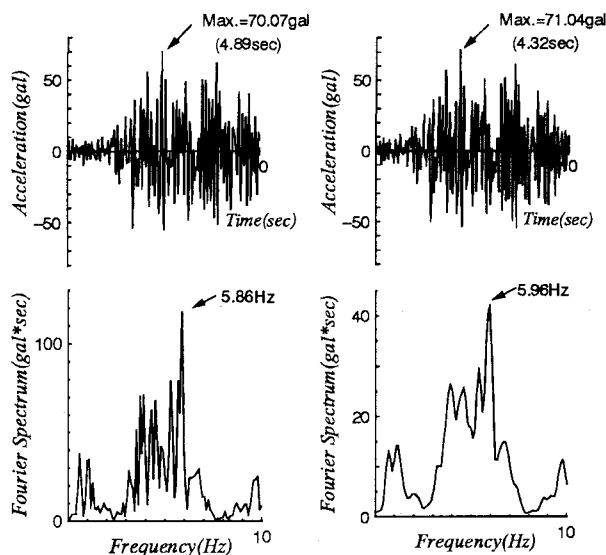
(b) 復元力特性



(c) 有効応力経路

6th-Layer 7th-Layer

図5 H-Dモデル(基盤波, 最大加速度200gal 入力)



(a) 解析手法1 (吉川研)^{1), 2)} (b) 解析手法2 (杉戸研)³⁾

図3 加速度波形とフーリエスペクトルの比較

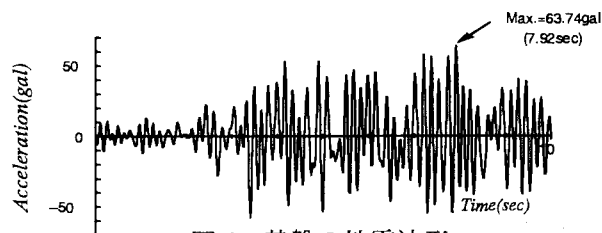
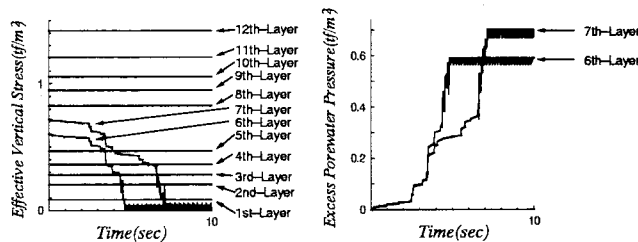
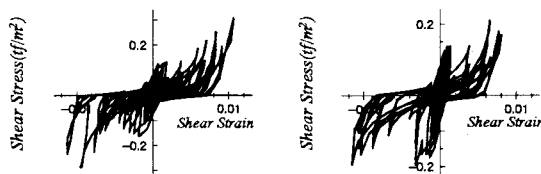


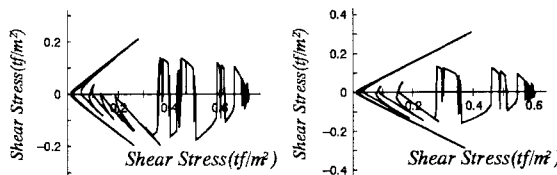
図4 基盤の地震波形



(a) 有効応力と過剰間隙水圧の時刻歴



(b) 復元力特性



(c) 有効応力経路

6th-Layer 7th-Layer

図6 R-0モデル(基盤波, 最大加速度200gal 入力)

参考文献

- 1) 吉川正昭, 柿内雅史: 高知市(はりまや橋周辺地盤)の地震応答解析—全応力解析と有効応力解析—, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 7~8, 2003. 5.
- 2) 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
- 3) M. Sugito: Frequency-Dependent Equivalent Strain for Equi-Linearized Technique, Proc. Of IS-Tokyo' 95, The First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, Nov. 1995, pp655-660.