

I-4 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—

高知高専建設システム工学科 吉川 正昭
高知高専専攻科 ○柿内 雅史

1. はじめに

芸予地震(2001. 3. 24)では、震度5強の強い揺れのため、砂礫の卓越する重信川の河道内での液状化現象が見られ、広島市などの埋立地の液状化地盤ではまさ土が噴砂した。液状化の発生メカニズムは、飽和した砂の場合は周知されているが、砂礫やまさ土でも液状化現象が生じていることが地震被害調査からわかる¹⁾。ここでは、K-net による土佐市の芸予地震による観測地震波形を用いて、全応力と有効応力解析による地震応答解析を行い、高知市はりまや橋周辺地盤の動特性について考察した。

全応力解析は、SHAKE²⁾に代表される等価線形法を用いて、地盤の地震応答解析を求める。実務上、多用されている手法で、当研究室³⁾で改良した。この手法は、複素剛性とフーリエ級数展開をもとに、近似手法を行ったものである。地表での観測地震動を逆解析(デコンボリューション解析)し、工学的基盤での入力地震波を求める。この波形を用いて順解析を行い、水平一方向(N-S 成分)入力に対する応答値を求めた。

有効応力解析では、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。また、H-D モデルによる G. L. -17.1mの応答加速度波形(地表面付近に比べて増幅が小さい)を正解と考えて、R-O モデルのパラメトリックスタディーを行い、パラメーター r , α を求めた。

2. 解析方法と解析条件

全応力解析では、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、波動方程式を解いて、水平一方向入力について地震応答解析を行った。

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に示す高知市はりまや橋周辺地盤を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)を用いる。

3. 解析結果と考察

全応力解析では、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。この基盤波を用いて3種類の基盤に入射する方法(E+F, E, 2E)を開発し、順解析を行い、図4に表層地盤の加速度波形とフーリエスペクトルを示す。その結果、卓越する振動数はすべてにおいて3.7Hzと5.9Hz近傍で同じとなるが、最大応答加速度振幅は、5秒の時、複合波 E+F、入射波 E、開放基盤波 2E の場合で異なり、それぞれ94gal、160gal、81galとなる。

R-O モデルの r を2, 3として、 $\alpha=1\sim7$ の14ケースのパラメトリックスタディーを行い、H-D モデルによる12層目(基盤の1つ上層)の応答加速度波形と比較して図5に示す。その結果より、R-O モデルに $r=3$, $\alpha=7$ を用いた。有効応力解析により求めた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6, 7(a)~(c)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。液状化層はH-D モデル、R-O モデルともに3層目と5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が、有効応力経路はほぼ類似した。

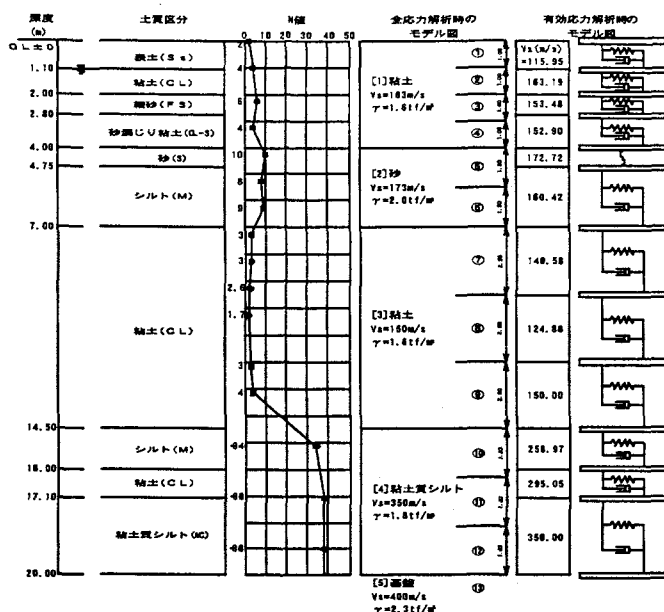


図1 土性図および地盤モデル

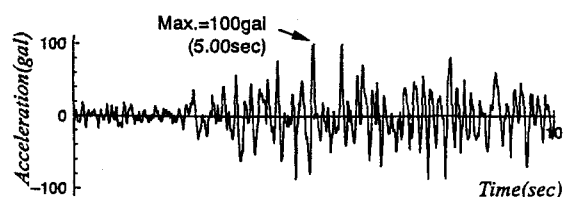


図2 観測地震波形

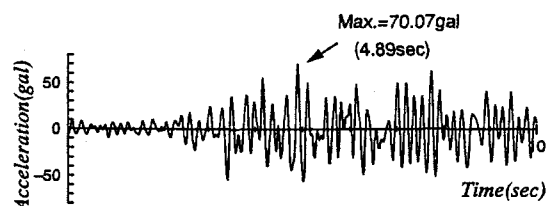
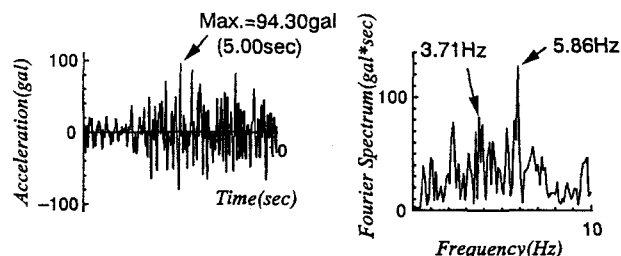
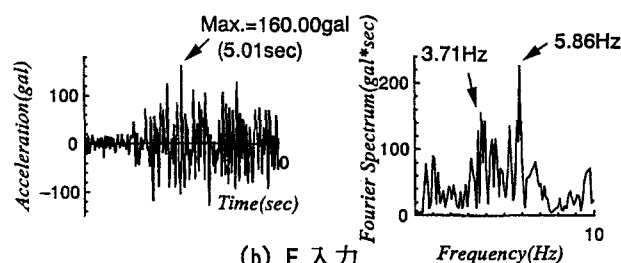


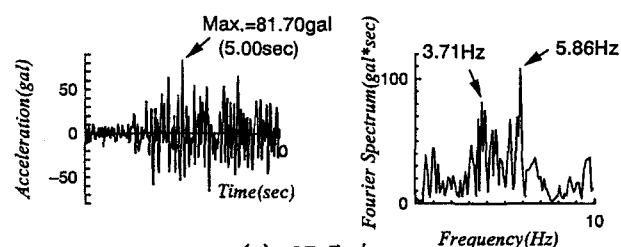
図3 基盤の地震波形



(a) E+F 入力



(b) E 入力



(c) 2E 入力

図4 加速度波形とフーリエスペクトル(順解析)

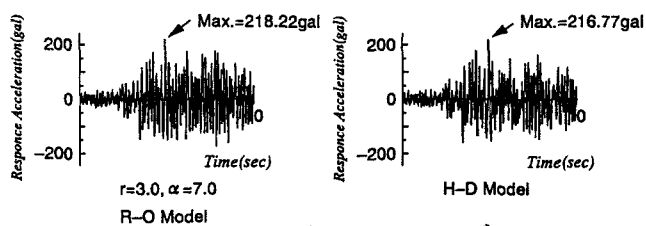
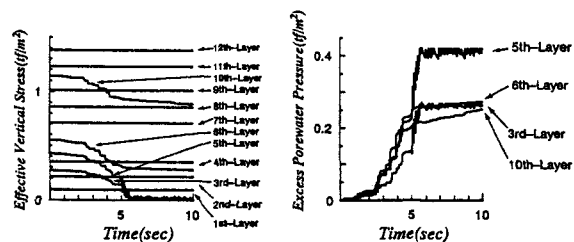
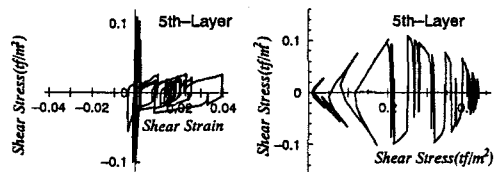


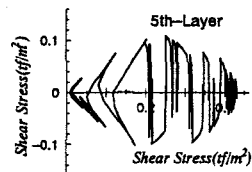
図5 パラメトリックスタディー



(a) 有効応力と過剰間隙水圧の時刻歴

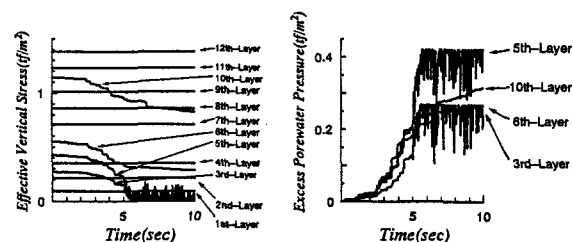


(b) 復元力特性

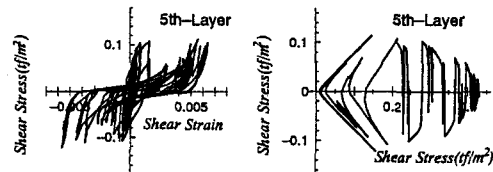


(c) 有効応力経路

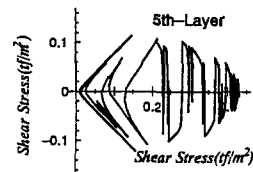
図6 H-Dモデル(基盤波, 最大加速度 200gal 入力)



(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

図7 R-Oモデル(基盤波, 最大加速度 200gal 入力)

参考文献

- 1) 吉川正昭他: 芸予地震被害で確認したこと, 土木学会四国支部四国の自然災害に関する調査研究, pp. 72~88, 2002. 3.
- 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) 吉川正昭, 村上秀樹: 高知市(丸の内地盤)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. 60~61, 2002. 5.