

I-17 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－

高知高専建設システム工学科 吉川 正昭
豊橋技術科学大学建設工学課程 ○村上 秀樹

1. はじめに

芸予地震時に三原や呉で見られたように、住宅が全壊に至らなくとも、老朽化によって、屋根や外壁に大きな被害を生じたり、傾斜地においては崩れやすい崖地形の影響によって、被害がより拡大することが十分に考えられる。このため、南海地震をひかえた高知県では、震度6弱の地震が予測されているので、防災対策が必要となる。K-netによる高知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、高知市丸の内地盤の地震応答特性について考察した。

全応力解析は、SHAKE^①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^{②③}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、水平二方向（N-S成分、E-W成分）入力に対する応答値を求めた。

有効応力解析では、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、考察を加えた。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、地震応答解析を行った。また、H-DモデルによるG.L.-21mの応答加速度波形（地表面付近に比べて増幅が小さい）を正解と考へて、R-Oモデルのパラメトリクスタディーを行い、パラメーター r, α を求めたので報告する。

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、地震応答解析を行った。この方法を用いて水平一方向および二方向同時入力についても行った。

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に示す高知市丸の内地盤を13層にモデル化し、入力地震波は、図2に示す芸予地震の高知市での観測波（最大加速度はE-W方向92gal、N-S方向74galである）を用いる。

3. 解析結果と考察

全応力解析（等価線形解析）では逆解析により、地表での観測波から14層目の基盤波に変換して図3に示す。この基盤波の加速度振幅を4.2倍して、地震応答解析を行い、地表面での応答加速度波形を図4に示す。地表と基盤の伝達関数および減衰定数を5%とした地表面での応答スペクトルを図5に示す。同図から、約1.2Hz付近で応答倍率が約6倍になり、応答スペクトルより、一方向200gal入力時に約7倍の1400galになることが分かる。一方向と二方向入力の比較により応答スペクトルは、一方向入力の方が二方向入力より大きくなる。しかし、応答倍率はほとんど差がなく、耐震設計時に、一方向入力を用いると、安全側になることが分かる。

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E-W方向の観測地震波（最大加速度を200galとする）を入力して、地震応答解析を行ったものである。同図(a)より、約5秒で液化化したことが分かる。液化化層はH-Dモデルで6, 7, 8層の3層であったが、R-Oモデルでは、2, 3, 6, 7層の4層であった。これは、H-DモデルによるG.L.-21mの応答加速度波形を正解と考へて、R-Oモデルのパラメトリクスタディーを行い、 $r=3, \alpha=7$ と決定したが、R-Oモデルの方が地表付近での応答加速度がH-Dモデルに比べて約1.5倍になるためである。同図(b)・(c)より、両者の有効応力経路はほぼ類似した。なお、両者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、同図から分かるように異なっている。

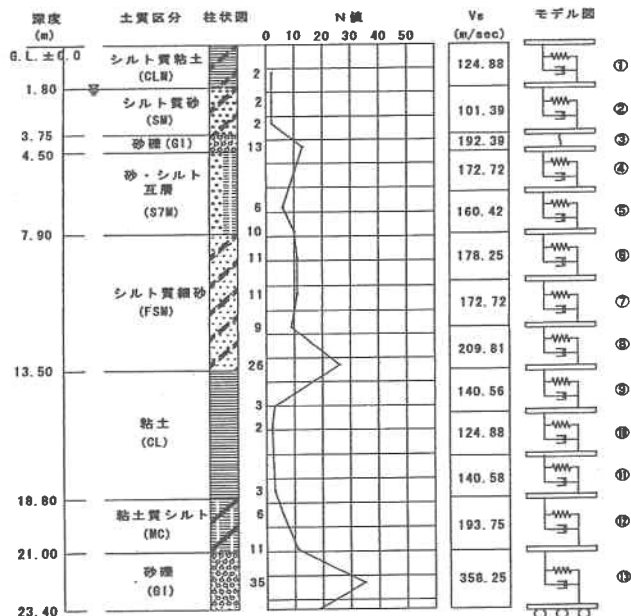


図1 土性図および地盤モデル

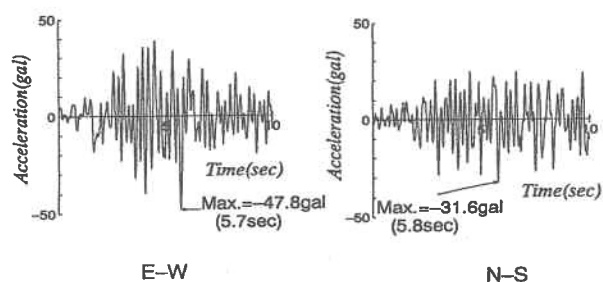


図3 基盤の地震波形

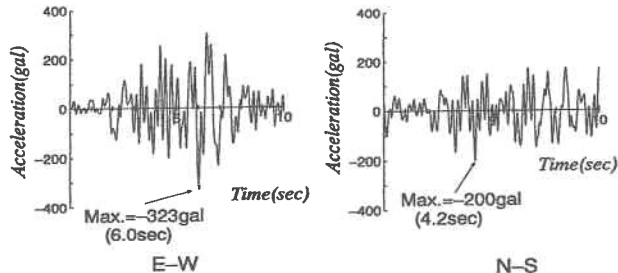


図4 地表面の波形（基盤の波形を4.2倍して入力）

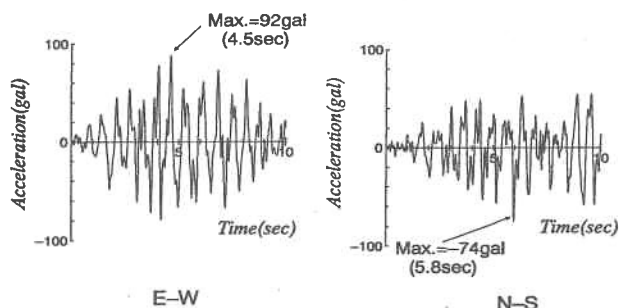


図2 観測地震波形

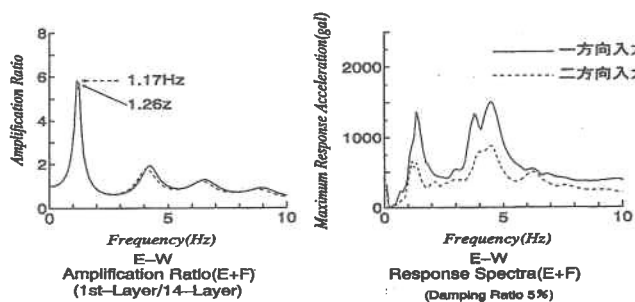
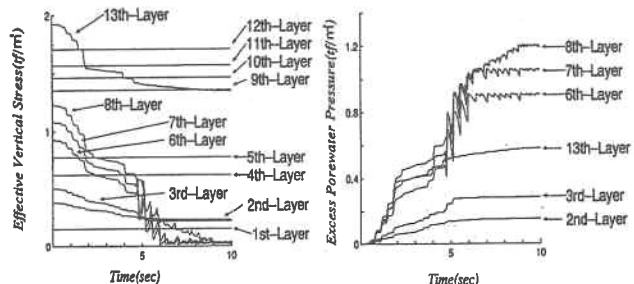
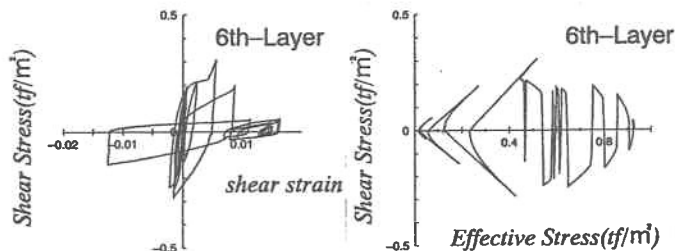


図5 一方向（E-W）と二方向入力の比較



(a) 有効応力と過剰間隙水圧の時刻歴

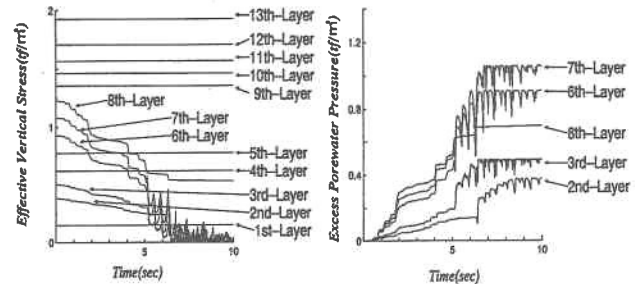


(b) 復元力特性

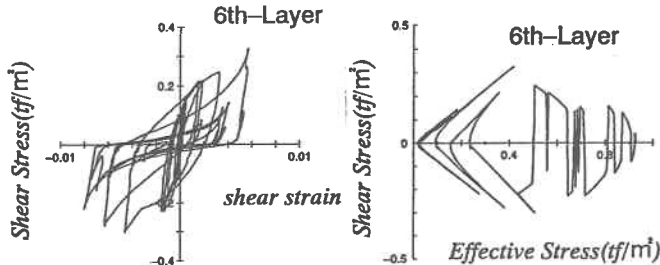
(c) 有効応力経路

図6 H-D モデル

（観測地震波形（E-W）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

（観測地震波形（E-W）最大加速度 200gal 入力）

参考文献

- 1) 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
- 2) 吉川正昭、大久保佳奈: 15 層地盤の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.54~55, 2000.5.
- 3) 吉川正昭、清岡拓未: 液状化地盤の地震応答解析、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp.56~57, 2001.5.