

地盤の液状化過程に及ぼす地震動の影響に関する検討

日本大学工学部 正○中村 晋
佐藤工業(株) 正 吉田 望

1.はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、各種構造物の耐震設計法は、二段階設計法の導入や動的解析の活用など大幅に見直された。特に、レベル2地震動に対する構造物の耐震設計を行う際、入力地震動や支持地盤の安定性を評価する上で地盤の震動解析を行うことが必要となっている。地盤の震動性状は、液状化過程も含む地盤材料の強非線形化過程で著しく変化する。その過程は、非線形化の発生過程、発達過程に大別され、地盤の振動特性と入力地震動の特性、特に周波数特性の相対関係に大きく依存することが知られている。

ここでは、兵庫県南部地震により液状化による著しい被害を受けたポートアイランドを対象とし、地盤の液状化過程に及ぼす入力地震動の周波数特性の影響について検討を行った結果を報告する。液状化過程はYUSAYUSA2¹⁾による解析により求めた。また、地盤及び材料特性には吉田ら²⁾が用いた地表から地中地震観測地点(GL-32.4m)までのモデル(地下水位の深度(GL-3m)からGL-18mまでの砂層が液状化の対象)、地盤材料の非線形特性としてHardin-Drenvichモデルを用いた。

2.地盤材料の非線形化が周波数応答に及ぼす影響

液状化対象層が液状化した状態をそれらの層の剛性が初期剛性の1/30になったと仮定し、地盤モデルの固有値解析(非減衰)により得られた1から3次モードの刺激関数を、初期地盤モデルの1から3次モードの刺激関数と合わせて図-1に示す。液状化層の著しい剛性低下に伴い、振動モードは地盤系全体の振動状態から、液状化層下の非液状化層の振動は小さく、液状化層最下層を基準面とする1次モードの振動が卓越するという状態に変化している。

次に、各層の非線形化が地表の周波数応答に及ぼす影響を把握する。まずS波重複反射理論より算出した初期地盤モデルの周波数応答関数は図-2に示すとおりであり、1から3次固有周波数は1.63, 5.45, 8.87Hzとなっている。次に、図-2の周波数応答関数を対象層のせん断剛性で偏微分することにより、各層の非線形化が地表の周波数応答に及ぼす影響を表す非線形化影響係数を求め、図-3に示す。ここでは、液状化層の上, 中, 下層(5, 10, 15層)を対象とした。これより、液状化層上層の非線形化に影響を及ぼす地震動の周波数は5.45または8.87Hz, 液状化層の中, 下層では1.63, 5.45Hzであることが分かる。

3.入力地震動の周波数特性が液状化過程に及ぼす影響

入力地震動として用いた地中の観測記録の主要動部20秒より、ウェーブレット変換³⁾を用い0.13-0.531Hz(J=3)から4.27-17.07Hz(J=8)の6つの周波数帯の地震動を抽出し、それぞれの帯域毎の地震動を入力地震動とした有効応力解析を実施した。それら6種類の入力地震動の最大加速度及び最大速度を変化させながら有効応力解析を実施し、得られた液状化層の上, 中及び下層における過剰間隙水圧と初期鉛直有効応力との比(過剰間隙水圧比)と最大加速度と最大速度の関係を図-4, 5に示す。図中●は抽出された周波数帯毎の入力地震動に対する応答を示す。これより、非線形化の発達つまり液状化の発生という観点では、加速度振幅の変化にはJ=4, 速度振幅の変化にはJ=5の入力地震動に対して、最も小さな振幅で液状化が生じている。また、速度について見ると、過剰間隙水圧の発生言い換えれば非線形化の発生過程は図-3に示した地層とその非線形化に影響を及ぼす周波数との関係によく対応している。しかし、4層, 11層ではその非線形化に影響を及ぼす初期地盤モデルの2, 3次モードに対応する入力に対しては液状化の発生に至っていない。ここで、各層の液状化発生時における最大加速度と最大速度の積と両者の比($=2\pi V_{max}/A_{max}$; 加速度波形の卓越中心周期)との関係を図-6に示す。液状化の発生時、その積はJ=4, 5にて最小となり、両者を包括する周波数帯の地震動が液状化の発生に影響を及ぼしていることが分かる。また、その積は地盤材料の強非線形過程に影響を及ぼす地震動強さの評価指標として可能性を有していることが分かった。

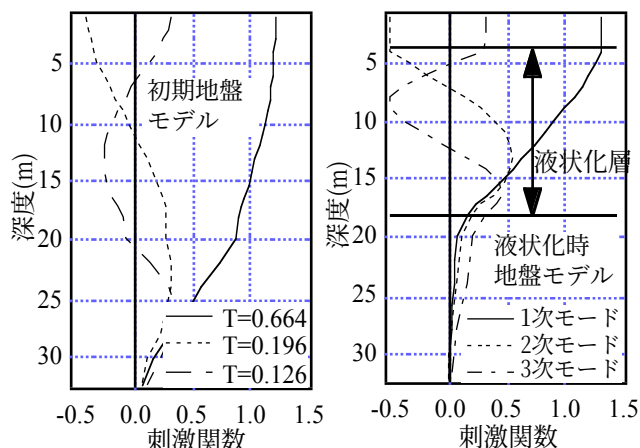


図-1 初期及び液状化時地盤モデルに対する刺激関数の深度分布

キーワード：地震動、周波数特性、液状化、ポートアイランド

連絡先：〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1 Tel:024-956-8712 Fax 024-956-8858

4.あとがき

地盤の液状化過程に及ぼす入力地震動の周波数特性の影響について検討を行った結果、ウェーブレット変換により得られる狭帯域の入力地震動の最大加速度と最大速度の積が地盤の非線形化に影響を及ぼす周期帯と地震動強さの評価指標として用いられる可能性があることが分かった。

参考文献: 1) 吉田望, 東畑郁生, YUSAYUSA-2 理論と使用法, 1991, 2) 吉田望, 中村晋, 末富岩雄, 1995年兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動とその予測, 第23回地盤震動シンポジウム, pp.39-52, 1995, 3) 佐々木文夫他, ウェーブレット変換を用いた時刻歴データ解析, pp.9-20, 構造工学論文集, Vol.38B, 1992

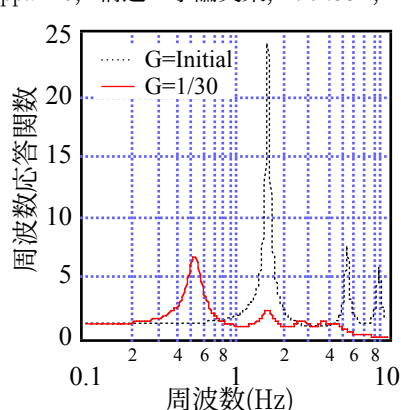


図-2 初期及び液状化時地盤モデルの伝達関数

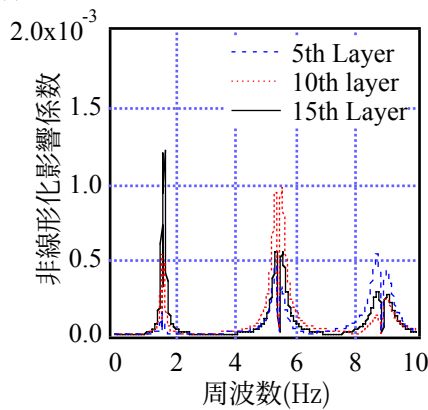


図-3 非線形化影響係数

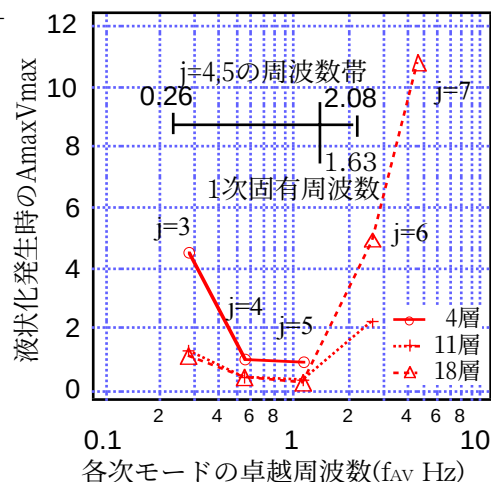


図-6 液状化発生時におけるウェーブレット変換による入力地震動の卓越周期とその最大加速度と最大速度の積の関係

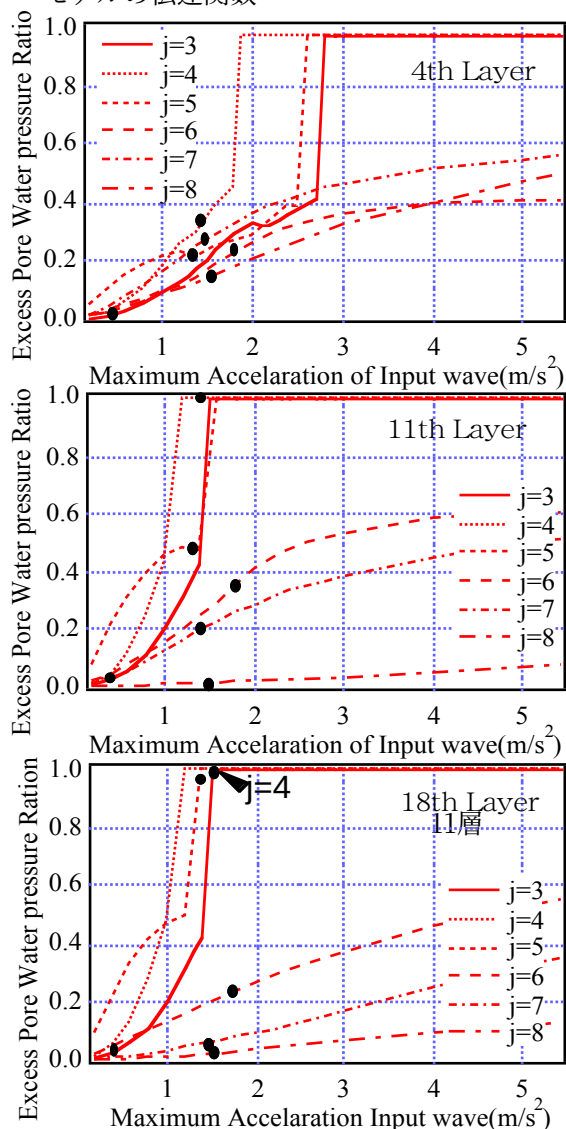


図-4 ウェーブレット変換による周波数帯域毎の入力地震動に対する最大加速度と過剰間隙水圧比の関係

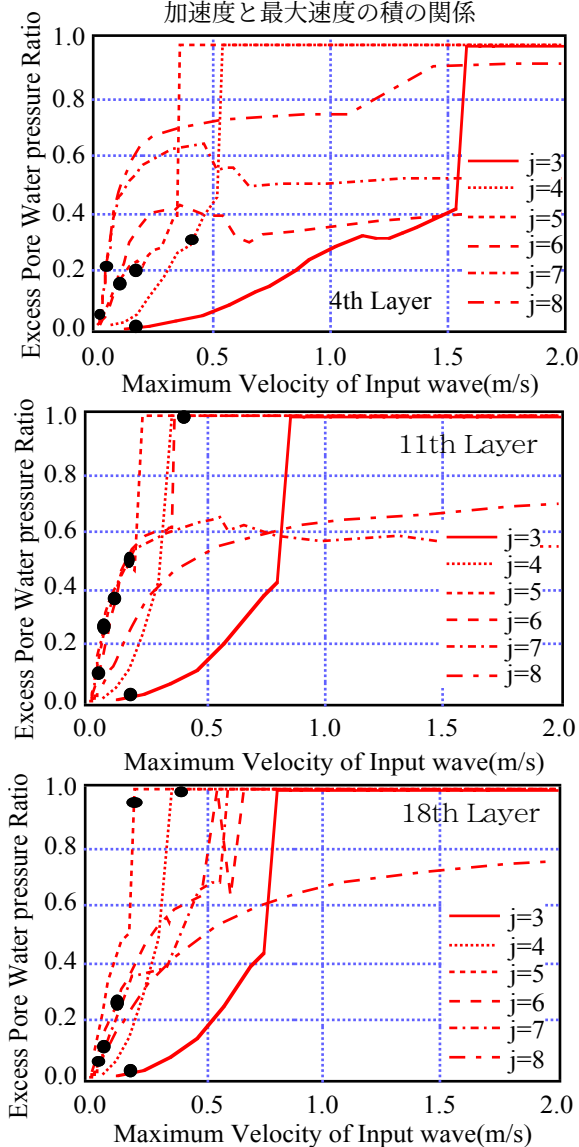


図-5 ウェーブレット変換による周波数帯域毎の入力地震動に対する最大速度と過剰間隙水圧比の関係