

III — 4

液状化過程における地盤振動挙動とそれ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

日本大学工学部 学○末長政行

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。液状化の可能性を有する地盤を支持地盤とする構造物のレベル2地震動に対する耐震設計を行う際、有効応力解析などにより液状化時における構造物の挙動を評価することが必要となっている。一方、液状化過程は地盤材料の強非線形化過程であり、地盤の振動特性も著しく変化する。その過程は、非線形化の発生、発達する状態に分けられ、地盤の振動特性とそれを促進する入力地震動の特性、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Yusa-Yusa¹⁾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

まず、初期地盤モデルを対象としS波重複反射理論より算出した周波数応答関数は図-1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-1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-2に示す。ここでは、液状化層の上, 中, 下層(5, 10, 15層), 及び非液状化層の表層の埋め戻し土(3層)と粘土層(20層)を対象とした。これより、表層及び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8.87Hz、液状化層の中, 下層では1.63, 5.45Hz、非液状化層の粘土層では1.63, 8.87Hzであることが分かる。

次に、液状化層が完全に液状化、つまりそれらの層の剛性が初期剛性の1/30になったと仮定した地盤モデルの固有値解析を行い、得られた1から3次モードの刺激関数を図-3に示す。さらに、有効応力解析により得られた液状化時における地盤変位の経時変化(9-11秒)、比較のため全応力解析より得られた同一時刻の地盤変位の経時変化を図-4に示す。液状化により、液状化層下の非液状化層の振動は小さく、液状化層最下層を規準面とする1次モードの振動が卓越し、その固有周波数は0.5Hz程度となっている。一方、全応力解析では、有効応力解析と振動モードが大きく異なり、基盤上の全層で振動している。

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ポートアイランド地中の観測記録より、ウェーブレット変換³⁾を用いた所定の周波数帯域毎の地震動を抽出し、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。抽出した周波数帯は0.26-1.041Hz($J=4$), 0.52-2.08Hz($J=5$), 1.041-4.17Hz($J=6$)及び2.08-8.33Hz($J=7$)の4種類とし、それらの速度応答スペクトル($\eta=5\%$)を図-5に示す。ここで、 $J=5$ のスペクトル振幅が最も大きな値となっている。それら4種類の入力地震動の最大加速度を変化させながら実施した有効応力解析により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)と最大加速度の関係を図-6に示す。また、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、同一の加速度レベルに対して、過剰間隙水圧比の最も大きな周波数帯は各層 $J=5$ となっている。また、周波数帯 $J=7$ では、500gal程度の入力地震動に対しても過剰間隙水圧の発生、言い換えれば地盤の非線形化は生じるもの液状化へ発達していない。これは、 $J=7$ が液状化層の非線形化に影響を及ぼす2次固有周波数5.45Hz近傍の周波数帯ではあるものの、最も卓越した振動モードである1次モードを含む、その周波数5.45Hzより長周期帯域のスペクトル振幅が小さいことから非線形化を促進するには至っていない。一方、周波数帯 $J=4$ と $J=6$ では過剰間隙水圧比が0.3から0.5の非線形化の過程で、初期地盤モデルの1次固有周波数のスペクトル振幅の大きい $J=6$ が $J=4$ に比べ同一加速度に対する過剰間隙水圧比が大きいものの、両周波数とも液状化過程では類似の傾向を示している。これらより、地盤の非線形化に影響を及ぼす周期帯及びそれより長周期側の周波数成分を有する地震動成分が、地盤の非線形挙動を支配することが分かった。

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、地盤の非線形化に影響を及ぼす周期帯とその長周期側の周波数成分を有する地震動成分が、地盤の非線形挙動を支配することが分かった。

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

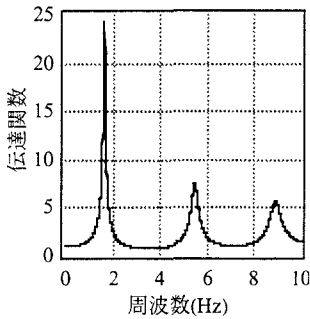


図-1 初期地盤モデルの伝達関数

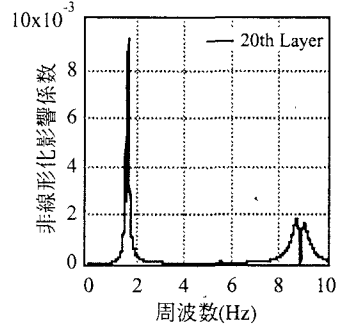
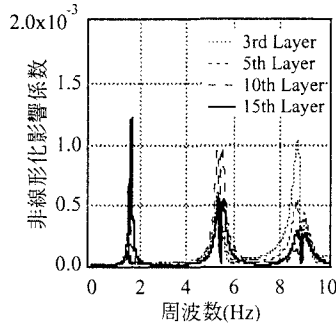


図-2 非線形化影響係数

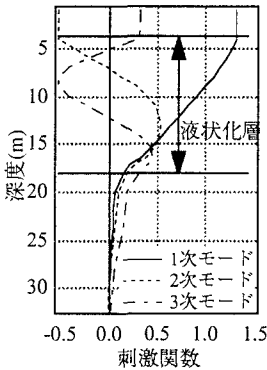


図-3 液化化時における刺激関数の深度分布

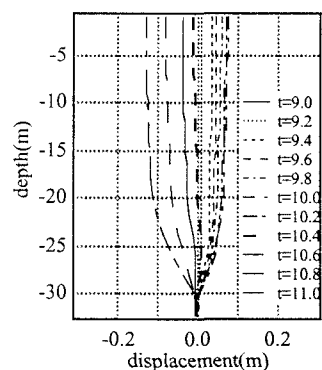
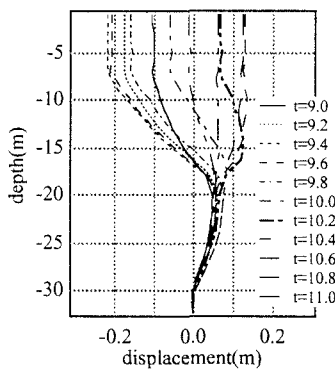


図-4 有効応力解析による液化化時の変位分布の経時変化と全応力解析による変位分布の経時変化の比較

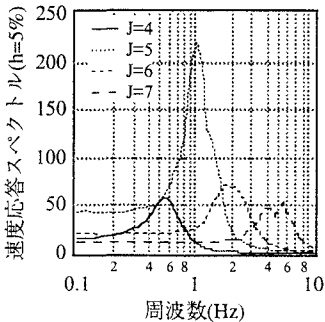


図-5 ウェーブレット変換による周波数帯域毎の速度応答スペクトル

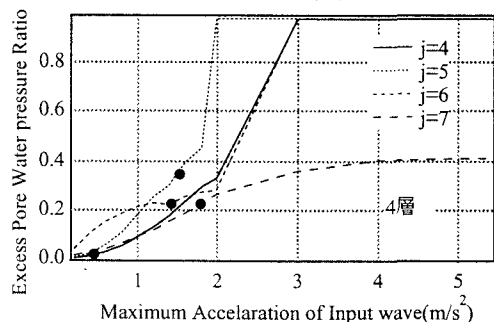


図-6(1) ウェーブレット変換による周波数帯域毎の入力地震動に対する最大加速度と過剰間隙水圧比の関係

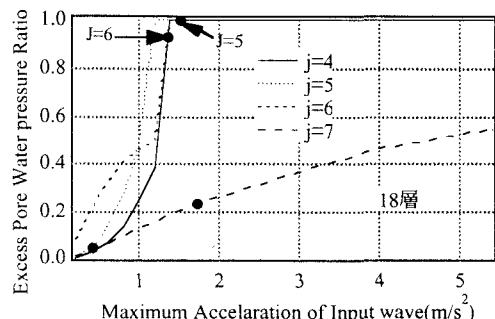
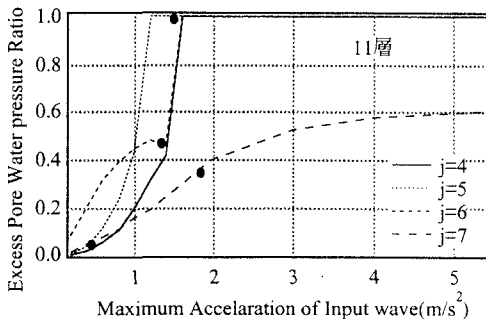


図-6(2) ウェーブレット変換による周波数帯域毎の入力地震動に対する最大加速度と過剰間隙水圧比の関係