

III — 3

液状化時の地盤震動に及ぼすRayleigh減衰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○箱崎雄治

1.はじめに

飽和砂質地盤を支持地盤とする港湾施設の様な構造物の耐震設計法は1995年兵庫県南部地震以降に大きく見直され、有効応力解析などの動的解析を用いた液状化の発生や変形挙動を推定することが必要となっている。有効応力解析を実施する際に設定するパラメーターのうち、地盤材料特性については、実験や被害状況との対応により、設定法が示されている。しかし、応答値に直接影響を及ぼす運動方程式中の減衰特性のうち減衰項としてよく用いられるRayleigh減衰のパラメーター設定については、実験や被害状況との対応により設定されているのが現状であり、その評価手法が明確となっていない。

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、地盤の液状化解析に及ぼすRayleigh減衰の影響について検討を行った結果を報告する。解析にはYusa-Yusa²⁾を用いた。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.液状化解析に及ぼすRayleigh減衰の影響

対象地盤の初期地盤モデルの1次固有周期時に1%、2%及び4%となるようにパラメーターを設定したRayleigh減衰を用いて有効応力解析を実施し、得られた地表面の応答変位時刻歴を図-1に示す。図には、液状化層の最下層における過剰間隙水圧の時刻歴も合わせて示す。さらに、同じ条件で実施した全応力解析により得られた地表面変位の時刻歴を図-2に示す。この結果、有効応力解析は全応力解析に比べ、Rayleigh減衰の値が応答解析結果に及ぼす影響が大きいこと、減衰の影響は液状化が発生した時刻（約7.0秒）以降に顕著に表れていることが分かる。

3.液状化過程における地盤の震動性状

地盤の液状化過程における震動性状を把握するため、まず初期地盤モデルを対象とした固有値解析により得られた刺激関数の深度分布を1から3次モードまでを図-3に示す。図には、有効応力解析により得られた応答変位の深度分布のうち、過剰間隙水圧が発生した時刻より2秒間の変位分布の経時変化も合わせて示す。これより、液状化に至る過程では、概ね初期の1次モードと同様、基盤よりCOS型の変位分布を示していることが分かる。次に、液状化の対象層が全層液状化したと見なし、その層の剛性が初期剛性の1/30程度に低下したと仮定した地盤モデルを対象とした固有値解析より得られた刺激関数の深度分布を1から3次モードまで図-4に示す。図には、液状化時（9秒から11秒）における変位分布の経時変化も合わせて示す。これより、液状化が発生すると、その層に深の非液状化層の変位応答は著しく低下し、液状化層下端を規準面とする1次モードつまりCOS型の変位分布を示していることが分かる。図-5、6に示した最下液状化層とその直下の非液状化層における応力-ひずみ関係からも同様の結果を読みとることができる。

4.考察

液状化が生じた後の地盤の震動モードは図-4に示した様に、液状化層下端を規準面とする1次モードの震動が卓越している。すると、図-7に示す地表面変位と規準面上の地盤のせん断応力の関係は、規準面以浅を1自由度の振動系とみなすと、その振動系の復元力特性と見なされる。図より、その復元力特性は、液状化の発生過程では地盤材料特性と同様双曲線型を示しているが、液状化発生後、完全弾塑性型を示している。その際の復元力は著しく低下していることが分かる。せん断応力を単位土柱当たりのせん断力と見なすと、その層上の地盤の重量との比より降伏震度が得られる。これより、低下後の降伏震度は概ね0.025、一方、規準面上の地盤のせん断強度より推定される初期状態の降伏震度は概ね0.25であり、液状化により降伏震度は10%程度に低下したことが分かる。

この完全弾塑性型の復元力特性を有する1自由度の振動系に対する非線形応答解析を減衰の値1、2、4%について実施し、得られた応答変位時刻歴を図-8に示す。その際、剛性は図7中の変位が小さい場合の勾配とし、質量は規準面上地盤の全質量、さらに入力地震動は有効応力解析により得られた液状化層下端の加速度時刻歴とした。7秒程度までの処女荷重領域では減衰の応答に及ぼす影響は小さいものの、それ以降は図-1の有効応力解析と同様な傾向が認められる。全応力解析に相当する復元力の低下しない場合として、図-7の初期双曲線部分の復元力特性をbilinear型に近似し、減衰の値1、2、4%について1自由度系の非線形応答解析を実施することにより得られた応答変位時刻歴を図-9に示す。この結果は、図-2の全応力解析の結果と同様な傾向が認められる。

振動系の保有する減衰力は主に履歴減衰によりもたらされ、Rayleigh減衰が減衰力全体に占める割合は小さいと

いえる。一方、液状化後の復元力特性は極めて小さな復元力を有する完全弾塑性型を示し、応答はすべりに類似の挙動を示すこととなる。そのすべり時の復元力はほぼ一定値となるため、その応答、特に応答変位は減衰力の影響を強く受けることになる。このこと、つまり液状化により復元力特性が復元力の小さな完全弾塑性型の復元力特性に変化することより、Rayleigh減衰の値は液状化解析の結果に影響を及ぼすものと推定される。

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回地震震動シンポジウム, pp.39-52, 1995

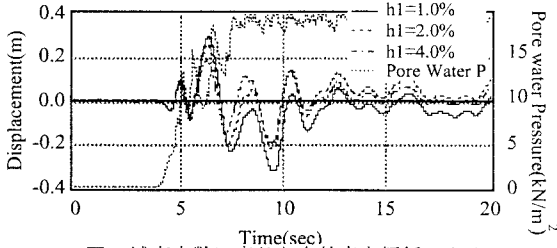


図-1 減衰定数に応じた有効応力解析による
地表面応答変位の比較

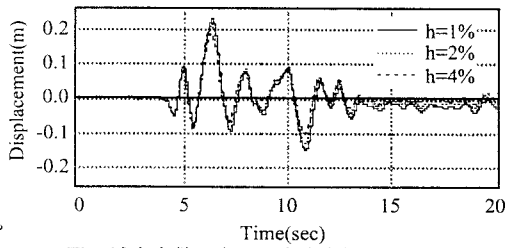


図-2 減衰定数に応じた全応力解析による
地表面応答変位の比較

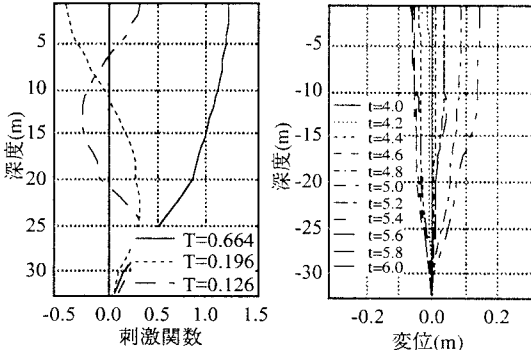


図-3 初期地盤モデルに対する刺激関数と
液状化過程の変位分布の経時変化

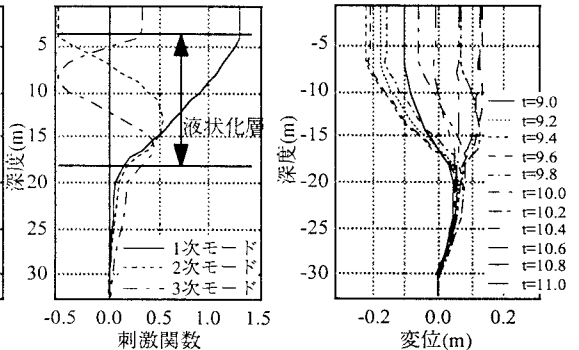


図-4 液状化時における地盤の刺激関数と
変位分布の経時変化

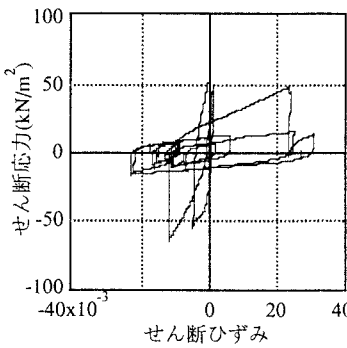


図-5 最下液状化層の応力-ひずみ関係

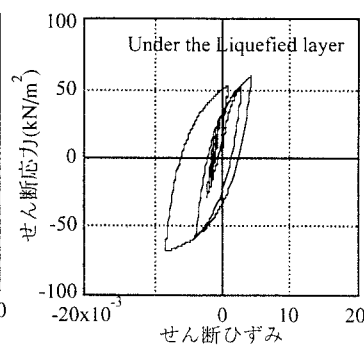


図-6 液状化層下の非液状化層の
応力-ひずみ関係

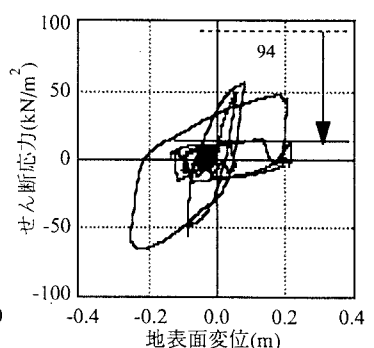


図-7 地表面変位と最下液状化層
のせん断応力の関係

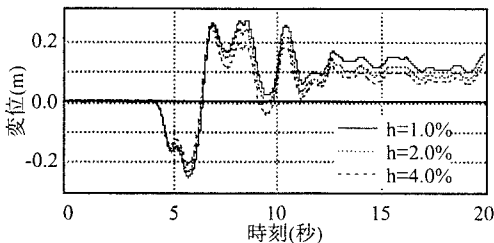


図-8 完全弾塑性型復元力特性に対する応答変位時刻歴

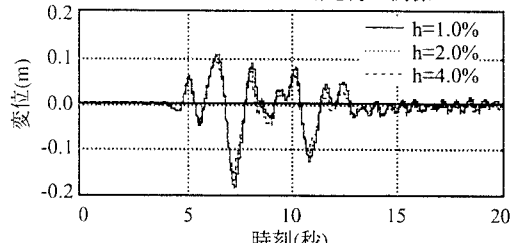


図-9 Bi-linear型復元力に対する応答変位時刻歴