

液状化地盤の物性と一次元地震応答のばらつき

愛媛大学大学院理工学研究科 フェロー 森 伸一郎
 愛媛大学大学院理工学研究科 学生会員 ○田村 一樹

1. はじめに

性能設計において対象となる系の構造，物性，応答のばらつきを考慮することが重要である．特に，地盤の場合には層構造と層内物性のばらつきをどのように取り扱うかが重要である．

2001年3月24日の芸予地震では愛媛県の瀬戸内海川の海岸埋立地で多くの液状化噴砂が確認された1)．成層構造が期待される液状化地盤を対象に，微動観測により振動特性を測定し，表層20mのせん断波速度が表面波探査により推定した後に，1次元地震応答解析を行い地震応答のばらつきを検討した．比較的水平的な成層が望め，液状化現象は地盤の不均質さに感度が高いと予想されることから，地震応答のばらつきを地震時の液状化の状況との比較という観点から地盤の最大応答のばらつきを検討した．

2. 調査地点の地盤構造の推定

調査地点は愛媛県の旧・東予市壬生川にある海岸埋立地であり，2001年3月24日の芸予地震（マグニチュード $M_{JMA}=6.7$ ）では，この埋立地では調査地点のみならず広い範囲で液状化噴砂の発生が確認された1)．この地点から2.6 km離れたところに強震観測点K-Net東予（EHM003）があり，最大水平加速度 462 cm/s^2 記録された．地質調査の土質の記載によれば，液状化噴砂は客土および浚渫埋立層が起源であると推察される．

噴砂地点と非噴砂地点の振動特性と地盤物性を比較することを目的に，施設敷地北西境界に面する道路上で，噴砂地点を通る北東-南西方向の測線に沿って常時微動測定および表面波探査を行った4)．図-1の下図に測線に沿

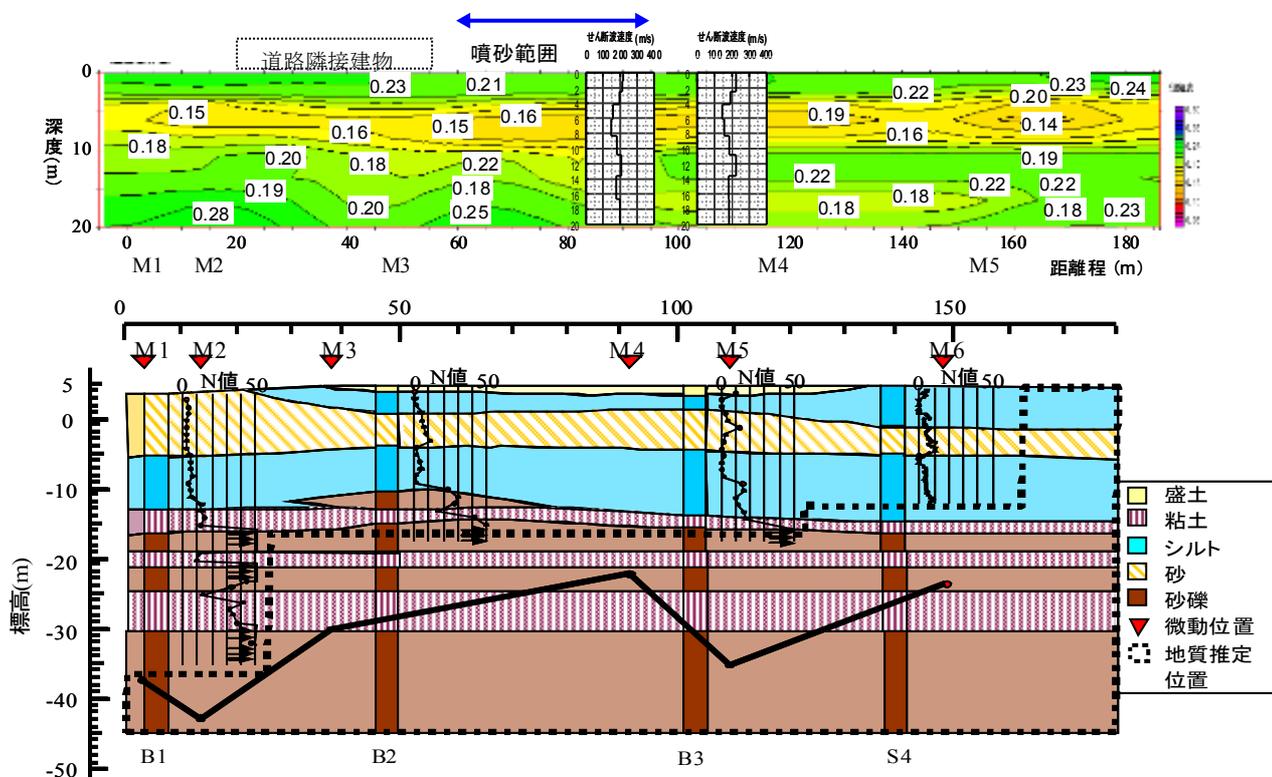
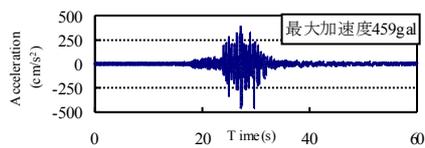


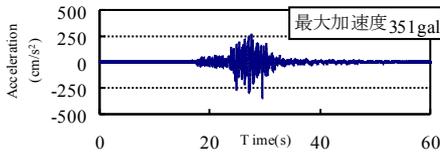
図-1 調査測線に沿う表面波探査による表層20mの V_s 分布(上)と推定地盤断面(点線より上部は地質調査による推定, 下部は仮定)と4地点(S1~S4)の標準貫入試験(SPT)のN値分布(下)

キーワード 斜面，振動，常時微動

連絡先 790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学 大学院理工学研究科 mori@dpc.ehime-u.ac.jp

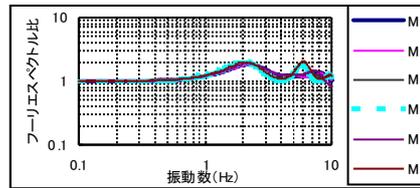


(a) K-Net 東予の観測記録

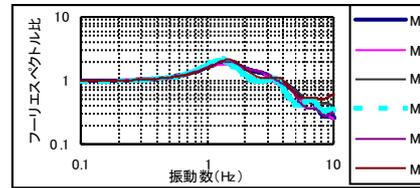


(b) 逆応答による工学的基盤における露頭波

図-2 (a) K-Net 東予の観測と(b) 逆応答による工学的基盤における露頭波の加速度時刻歴



(a) 線形



(b) 非線形

図-3 微動観測地点の地盤モデルの伝達関数

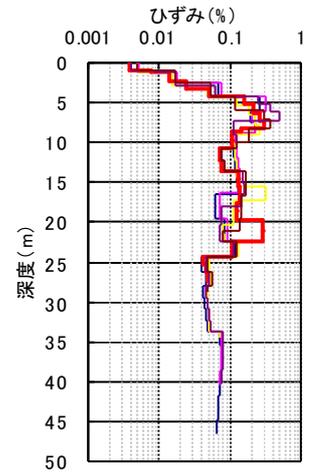


図-4 6 地盤モデルの等価線形解析による最大地盤ひずみ分布

方向で相対的に V_s の低い層が見られ、噴砂発生範囲（60～95 m）では V_s が150 m/s前後であるのに対して、周辺地域では対応層がGL-5～-8 mに見られ、 V_s が160～170 m/sと噴砂地域に比較して相対的に大きい。また、その上位の非液状化層の V_s は、噴砂地域が他よりやや小さい。わずかな V_s の差ではあるが、緩い砂層の V_s が相対的に小さいこと、表層の非液状化層の V_s が相対的に大きいことが噴砂の有無を支配していると推測できる。

表面波探査、微動測定、地質調査の長所を活用して地盤モデルを作成し、微動測定地点におけるモデルを用いて次元応答解析を実施した。K-Net東予で観測された加速度時刻歴を用いて、観測地点の地盤モデルで工学的基盤と考えられる $V_s = 300$ m/sの層の入射波を逆応答解析により求め、それを対象地盤の工学的基盤に入射波として入力地震動として設定した。等価線形解析の際に用いる地盤の材料非線形性は安田・山口モデル⁷⁾によった。図-2に(a) K-Net東予の観測と(b)逆応答による工学的基盤における露頭波の加速度時刻歴を示す。

3. 地震応答解析結果

図-3に微動観測地点（M1～M6）の地盤モデルの(a) 線形と(b) 非線形の伝達関数を示す。線形時には、地点による形状の差は全般的に小さい。非線形時には、2～3 Hzより高振動数では増幅は1以下に低下し、1次の低振動数側へのシフトがM4地点で最も顕著である。M4地点はいずれも最小である。

図-4に6つの地盤モデルの等価線形解析による最大地盤ひずみ分布を示す。深さ4～8 mの砂層で最もせん断ひずみ大きい。モデル間でばらつきがあるもののM4地点は着目する深さでせん断ひずみは中間的な大きさである。0.1%以上で過剰間隙水圧が上昇し、0.3%以上で初期液状化が始まるという性質を考えれば、いずれの地点でも深さこそ異なれ液状化が発生していると考えられる。したがって、噴砂領域で非液状化層のせん断波速度の小さいことが噴砂現象に繋がっていることが推測される。

地表の応答のばらつきも小さく、平均的な物性と構造でモデル化することの妥当性を支持していると考えられる。サンプル数が少なく参考ではあるが、変動係数は最大加速度で0.05、最大速度で0.04であり、 V_s の変動係数に近い。信頼性を取り込んだ性能設計には地盤の統計量とこれらの応答の統計量の評価が重要になる。

4. 結論

2001年芸予地震による壬生川埋立地での噴砂は、概ね $V_s = 150$ m/sを下回る緩い砂層の液状化と地表の非液状化層の V_s の小さいところに対応し、地震応答のばらつきは大きくなく僅かな地盤物性のばらつきによる。

参考文献：森 伸一郎，田村 一樹：液状化した海岸埋立地盤の構造推定と次元地震応答のばらつき，第30回土木学会地震工学研究発表会論文集，2009.5.（予定）

謝 辞：隣接施設の管理者，K-Netを設置・運営する防災科学技術研究所に謝意を表します。