

III-277

表層に難透水層を持つ地盤の液状化後の沈下特性

佐藤工業（株） 正会員 吉田 望、規矩大義

1 はじめに

液状化した層の上部に透水係数の低い砂があると、その下部に水の層が出来、地盤の安定性を著しく低下させる。筆者は、このような挙動を解析するために、液状化解析に用いるためのジョイント要素を提案した¹⁾。この際、手法の例題として、Dobry らによって行われた遠心力载荷試験のシミュレーションを行ったが、詳細な材料データ、実験値が得られていなかったため、定性的な検討をするしか出来なかった。その後、詳細な実験報告²⁾を入手したので、これに基づいて再度解析を行った。

2 実験

実験は、遠心力载荷装置を用いて行われた。図-1 に装置と計測器の位置を示す。地盤は上部がシルト、下部が砂で構成された2層地盤である。図-2 に入力加速度および地表加速度時刻歴を、図-3 に地表および層境界の沈下量を示す。なお、層境の沈下量に関しては、砂層上部の変位を計測する予定であったが、結果から判断してシルト層下部の変位に近いものが計測されているとレポートされている。

3 解析

ジョイント要素に関する理論、FEM モデル化等は既報と同じなので省略する。ただし、砂の応力-ひずみ関係については工夫をした。すなわち、過剰間隙水圧消散時の体積ひずみ ε_{vo} をパラメータとして体積変化を次式とする。

$$\frac{p'}{p'_0} = \frac{e^{\frac{\varepsilon_{vo}}{c}} - 1}{e^{\frac{\varepsilon_{vo}}{c}} - 1}, \quad c = 0.053\varepsilon_{vo} + 0.0007 \quad (1)$$

ここで、 p'_0 は初期有効拘束圧である。筆者らは液状化後の地盤の沈下に関する研究を行い³⁾、従来液状化解析に多く用いられている、拘束圧のべきに比例する体積弾性係数モデルでは、過剰間隙水圧が消散を始めた直後の、拘束圧の

低いところで起きる大きな体積変化を考慮できないことを指摘した。式(1)はこの欠点を補正したものである。豊浦標準砂に液状化発生以後も繰り返し载荷を行い、その後過剰間隙水圧を消散させた実験で得られた、過剰間隙水圧消散時の体積変化特性の比較結果を図-4 に示すが、提案式は実験値とよく一致している。体積弾性係数は式(1)を ε_v で微分することで得られる。過剰間隙水圧消散の過程ではせん断変形はほとんど生じない。すると、体積変形が式(1)で表されるとし、微小ひずみ時のせん断弾性係数 G_{max} によく用いられる拘束圧のべきに依存する値を用いるとポアソン比が異常な値となる。ポアソン比の拘束圧依存性（特に低拘束圧時）に関してはほとんどデータがないので、ここではポアソン比を一定として上式より G_{max} を求める。その他、 $\varepsilon_{vo}=2\%$ 、砂とシルトの透水係数をそれぞれ 4.26×10^{-3} 、 $4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ とした。透水係数は原論文に示される値の2倍と4倍になっているが、これは液状化に伴う透

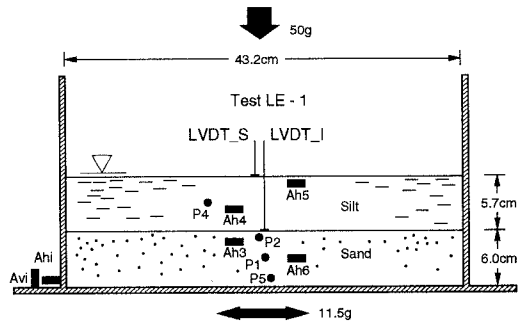


図-1 実験装置と計測位置

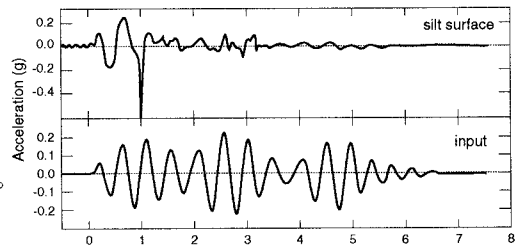


図-2 加速度記録

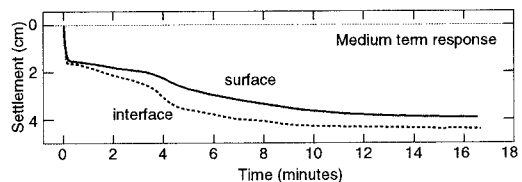
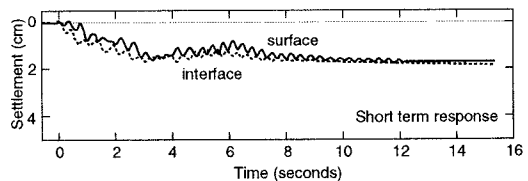


図-3 沈下の時刻歴

水係数の変化を考慮して調整したものである。なお、ここでは、過剰間隙水圧の消散のみを検討の対象にすることにし、液状化が発生したと考えられる3秒以降を解析している。また、結果の表示は全て実モデルに補正している。

4 考察と結論

図-5と6に沈下量および砂層の中央部の過剰間隙水圧時刻歴をしめす。図-3に示されているように、実験では加振初期に非常に大きな沈下が観測されているが、これは常識的には考えられない現象であり、解析でも考慮されていない。解析と実験の沈下量の差のもっとも大きなものはこの部分である。実験との比較ではこの部分は無視すべきかもしれない。

次に、過剰間隙水圧時刻歴を見ると、砂層では一旦過剰間隙水圧が低下した後 30kPa 近くで数分一定値を保ちその後緩やかに減少している。最初の低下は砂層の過剰間隙水圧が消散していくことで生じている。しかし、上部のシルト層のため過剰間隙水圧の地表への消散は拘束されているので、過剰間隙水圧が上部のシルト層の上載圧と同じになった時点で、これ以上の消散は起こらず、一定値を保つ。シルト層への消散は徐々に起こり、砂層上部の水の層（解析的にはジョイント要素の開き）は次第に小さくなる。水の層がなくなると、シルト層を消散していく間隙水圧が砂層の間隙水圧分布と直接作用するようになり、砂層の間隙水圧は緩やかに消散していく。すなわち、最初の間隙水圧の低下は砂層の透水係数に大きく影響され、二度目の低下はシルト層の透水係数に大きく影響される。この間の経緯は、図-6とあわせればよりよく理解できる。

実験では3～4分付近より過剰間隙水圧の緩やかな消散が始まっており、ここで砂層上部の水の層がなくなったものと考えられる。この水はシルト層を通して排出されたはずであるが、排出量よりシルト層の透水係数を求めると異常に大きな値となっているので、たぶん亀裂や土槽と地盤の接触部より水が流れ出ていると考えられる。これは解析では考慮できないので、3.5 分でジョイントが急に完全に閉じたとの条件を設定し解析を行っている。

これらの実験側の問題も考慮に入れると、解析は実験とよく対応している。なお、間隙水圧の long term の記録で、

解析と実験で透水の傾向が逆転している部分は、実験では初期の段階では亀裂などのため見かけの透水係数は大きい、時間が経てば亀裂が閉じたりし、見かけの透水係数が小さくなると考えればつじつまが合う。

参考文献：1)吉田望：液状化解析に用いるジョイント要素の提案、第22回地震工学研究発表会、pp.31-34、1993

2) Liu, L. and Dobry, R. (1993): Centrifuge Earthquake Modeling of Liquefaction and its Effect on Shallow Foundations, Dept. of Civil and Environmental Eng., RPI, NY 3) 稲童丸征巳、辻野修一、吉田望、液状化後の残留沈下予測に関する基礎的研究、第49回土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.III, pp.498-499、1994

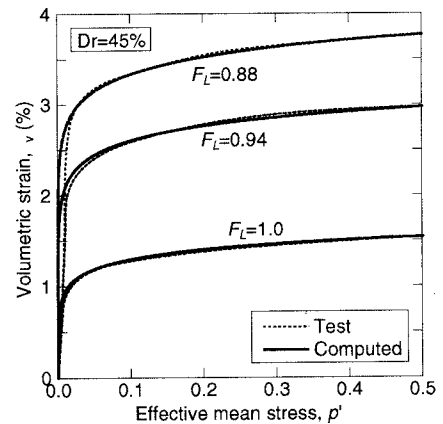


図-4 過剰間隙水圧消散時の体積変化特性

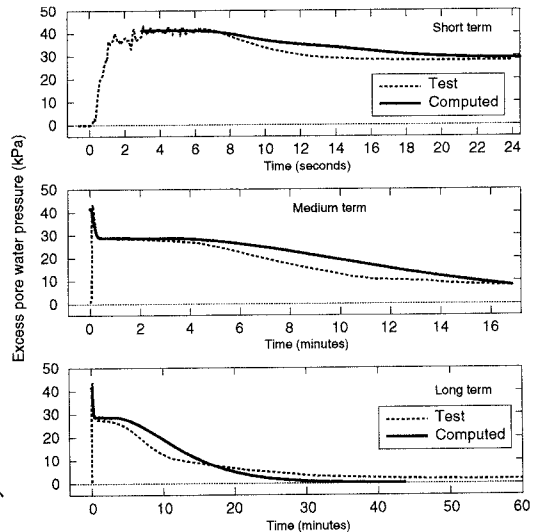


図-5 過剰間隙水圧時刻歴の比較

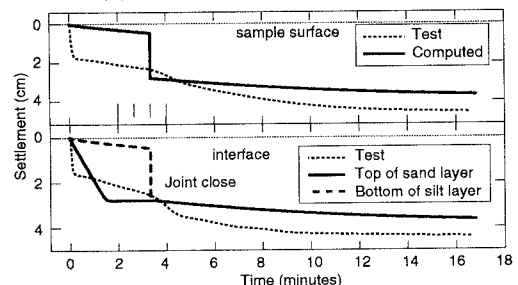


図-6 沈下量の比較