

液状化の継続時間を考慮した盛土の被害予測手法に関する研究

広島大学工学部 正会員 佐々木 康
 広島大学大学院 学生会員 宇高 薫
 広島大学工学部 学生会員 宮本 康司

1)はじめに

液状化する危険性のある地盤に構造物を建設する場合、地震によって大きな沈下が生じることがある。盛土の沈下量は、盛土自体の変形による沈下、液状化層の塑性流動的な変形による沈下、並びに過剰間隙水圧の消散に伴う圧密沈下から構成される。盛土自体の変形を無視した場合の地盤液状化に伴う沈下量が液状化層厚と液状化層の相対密度に支配されることを別報¹⁾で報告した。ここでは、実験事実として得られるこのような現象を過剰間隙水圧の継続時間に注目して吟味し、そのメカニズムの解明を試みる。

2)実験方法

図-1のような小型土槽に豊浦標準砂を水で飽和させた単層の模型地盤を作成し、その地盤上に塩化ビニル製の模型盛土を静かに設置して模型実験を行った。詳細は別報¹⁾に述べる。初期液状化層厚は6, 8, 10, 12, 及び14cmに変化させた。なお初期液状化層厚14cmのうち3ケースは、高速ビデオカメラにより模型盛土沈下量の時刻歴を求めた。

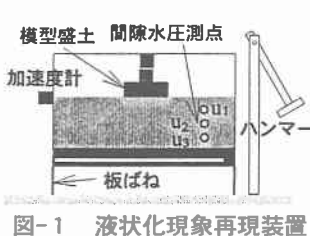


図-1 液状化現象再現装置

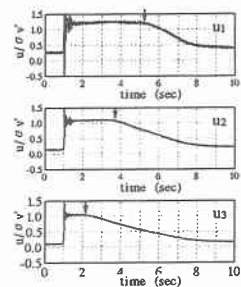


図-2 過剰間隙水圧比時刻歴

3)高間隙水圧比継続時間

図-2は計測した間隙水圧を有効上載圧で除した過剰間隙水圧比の時刻歴の例である。各実験ケースにおいて加振後に高い値を持続する明確な期間が表れる。この期間を高間隙水圧比継続時間と定義する。また、各実験ケースにおいて最も浅い深さ(初期液状化層厚の1/4深さ)における高間隙水圧比継続時間と、模型盛土の最終沈下量との関係を示したのが図-3である。この図から、高間隙水圧比継続時間が長いほど最終的な沈下量が大きいたことが分かる。

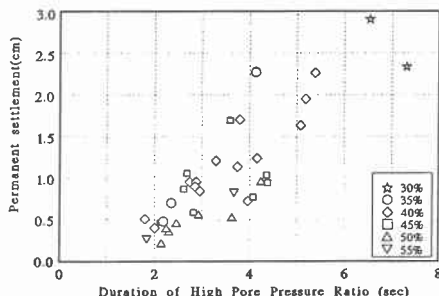


図-3 1/4 深さにおける高間隙水圧比継続時間と最終沈下量

4)高間隙水圧比継続時間の解析解

この高間隙水圧比継続時間を求めるために、液状化後の過剰間隙水圧消散過程に圧密解を適用する。ただし境界条件は上面排水下面非排水、初期条件は各深さで過剰間隙水圧が有効上載圧まで上昇したものとしてその値を与えた。すると

$$u(Z, T_v) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot 8 \cdot \gamma' \cdot H}{(2n-1)^2 \pi^2} \cdot \sin\left[\frac{(2n-1)\pi Z}{2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4} T_v\right] - (1)$$

を得る。図-4はこの解を用いて過剰間隙水圧比0.995以上の深さを様々な圧密係数について求めたものと実験から得た高間隙水圧比継続時間との比較である。

5)盛土の沈下速度

上述したような継続時間をどの深さで算定すればよいのか

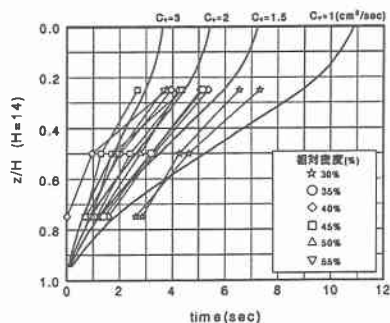


図-4 高間隙水圧比継続時間

次の問題となる。そこで初期液状化層厚 14cm の模型盛土沈下量の時刻歴を高速度ビデオカメラにより求めた。図-5はこの様子を示している。この図から、沈下は比較的短い時間(1秒程度)に変形の大部分を終え、その後急速に沈下が終わる。

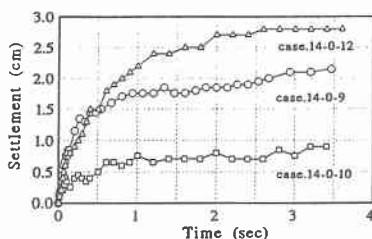


図-5 時間的な模型盛土の沈下

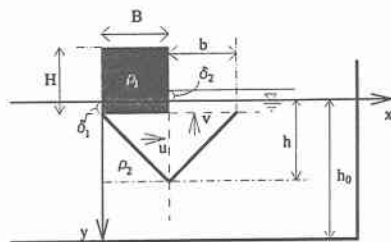


図-6 模型の運動

6) 盛土沈下速度の解析解

このことを説明するために、図-6のような運動モデルを考えた。この図は、模型の半断面から土槽までをx軸にとり、初期の模型の位置から深さ方向をy軸にとる。この図で層厚hは、模型の沈下に伴い、模型地盤が流体のように振る舞うとすると、流動する速度の大きい領域の最深位置を示すものである。hは初期地盤層厚h0より小さいものとする。模型が沈み込むことによって、その流体が図にあるようなくさび型の境界外で速度が無視し得るものであるとし、模型との接触面及びbの区間の上面で最大速度を持つものとする。ただし、 ρ_1 、 ρ_2 はそれぞれ模型、流体の密度、 δ_1 ：模型の沈下量(下方に一樣に沈下)、 δ_2 ：流体の盛り上り量、b：盛り上り幅、u：境界幅での流体の水平速度、v：境界幅での流体の鉛直速度である。模型の寸法は半断面幅をB、高さをHとする。流体はくさび形の流動速度の卓越した境界内で図-6のように流れるものと仮定すると、運動方程式は沈下量 δ_1 に関して(2)式で表せる。

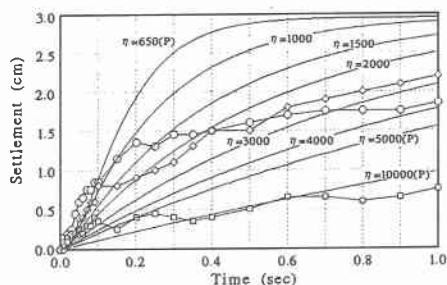


図-7 実験と解析解との比較

$$\ddot{\delta}_1 + 2c\dot{\delta}_1 + \omega_0^2\delta_1 - \frac{H\rho_1}{H\rho_1 + B\rho_2} \cdot g = 0 \quad (2)$$

ただし η を粘性係数(P)として $\alpha = c = \frac{1}{2} \frac{\eta}{H\rho_1 + B\rho_2}$ 、 $\beta = \frac{\eta^2 - 8(H\rho_1 + B\rho_2) \cdot \rho_2 \cdot g}{4(H\rho_1 + B\rho_2)^2}$ 、 $\gamma = \frac{H\rho_1}{2\rho_2}$ とおけば、

$$\delta_1 = -\frac{(\alpha + \beta) \cdot \gamma}{2\beta} \exp\{-(\alpha - \beta) \cdot t\} + \frac{(\alpha - \beta) \cdot \gamma}{2\beta} \exp\{-(\alpha + \beta) \cdot t\} + \gamma \quad (3)$$

となる。この式に実験定数を代入した結果図-7を得る。最終的な沈下量は、模型高さ、模型の密度及び粘性流体の密度(ここでは模型地盤の飽和密度)から決まるので、粘性係数に依らず一定となる。従って、曲線の立ち上がり付近、つまりはじめの微小な時間に注目してみる。すると、この図から相対密度の低い case.14-0-9 (Dr 27.9%) 及び case.14-0-12 (Dr 27.6%) の実測値は、 η が 1000~1500 P (100~150 Pa·s) のときの曲線に類似している。また、相対密度の高い case.14-0-10 (Dr 42.9%) の実測値は 2000~3000 P のときのものに近い。これらの粘性係数は非常に大きく、現実性を帯びていない。これは基本式中に液状化層厚の時間的変化を取り入れていないためであると考えられる。

7) 結論

- (1) 初期液状化層厚が厚いほど、高過剰間隙水圧比の継続時間が長い。
- (2) 高間隙水圧比継続時間が長くなれば、変形の継続時間は長くなる。
- (3) このため、液状化層厚が厚くなれば盛土の沈下量が大きくなる。
- (4) 沈下の生じる過程を説明するために、液状化層を粘性流体として扱うことが一つの方向と考えられるが、ここでの逆算値は現実的な粘性係数に比べて大きく、更なる検討が必要である。

参考文献 1) 佐々木康他：地盤液状化に伴う盛土の変形量，土木学会中国支部研究発表会概要集，1997。