

加振中の液状化地盤の間隙比変化

広島大学大学院工学研究科	フェロー会員	佐々木康
広島大学大学院工学研究科	正会員	加納誠二
広島大学大学院工学研究科	学生会員	楠木勝也
広島大学工学部	学生会員	○山野内寛和

1.まえがき

地震時の液状化被害の多くは、地盤の流動的な大変形により生じている。流動的な大変形が生じる時には地盤を構成している土の骨格構造は破壊され、土粒子は懸濁した状態にあると考えられる。しかし、地盤の大変形を追跡した多くの振動台実験の例では、地盤変形は加振中には生じるものの、加振停止と同時に変形の進行も停止することが観察されている。そこで振動台実験において加振停止と同時に地盤変形が停止する理由を解明するため、加振中の土粒子の移動軌跡を観察し加振中の液状化地盤の間隙比変化を検討した。

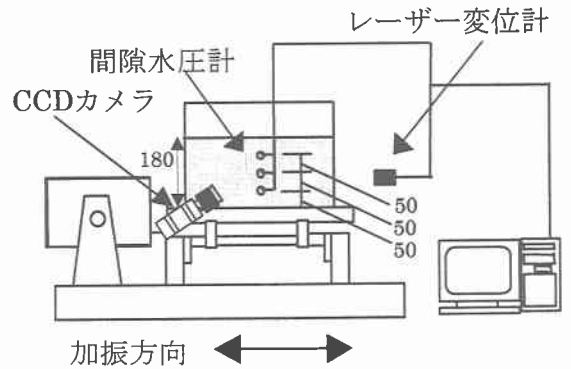
2.振動台実験

電磁式小型振動台を用いて厚さ18cmの飽和した模型地盤を加振し(加振振動数10Hz)、模型地盤内の間隙水圧を地表面から約3、8、13cmの3深度で計測し、土粒子の移動軌跡をCCDカメラにより撮影し、画像解析によって求めた。実験装置を図-1に示す。地盤材料は豊浦砂であり、初期相対密度は約10~50%とした。この模型地盤を液状化させるためには、100gal程度の加速度が必要であるが、加振条件は図-2に示すように一定加速度で加振する場合、段階的に加速度振幅を大きくする場合、連続的に加速度振幅を大きくする場合の3種類の加振パターンを用いた。

図-3に一定加速度で加振した場合の間隙水圧(深さ8.4cm)、及び同じ深さでの土粒子移動量の計測例を示す。同図において土粒子の水平移動距離には加振中の土槽の変位も含まれている。

3.液状化時の土の骨格構造の破壊

図-3に示すように、3サイクル目に過剰間隙水圧はほぼ上載圧と等しくなり、5秒程度その値を継続している。また、土粒子の移動(鉛直方向の沈下)は間隙水圧が上載圧と等しくなった時点から生じ始め、間隙水圧が上載圧と等しくなった時点から土粒子の水平移動距離にも加振中に累積する成分が含まれていること、加振中の沈降速度も大きいことが分かる。また加振停止後も間隙水圧が上載圧に等しい間には沈降が継続している事も分かる。この間には土粒子相互の接触が解放され、土粒子は懸濁状態にあり、土の骨格構造は破壊されていると解釈され、骨格構造の破壊から骨格構造の再生までの間には、土粒子の移動量 $d$ (沈降)に加振中の動的な成分 $d_d$ とその後の静的な部分 $d_s$ があることも分かる。



土槽の内寸 幅490×奥行200×高さ300(mm)

図-1 小型振動台実験装置

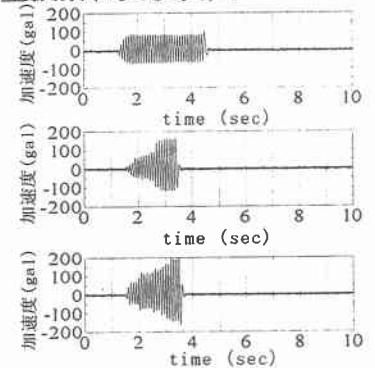


図-2 加振パターンの分類

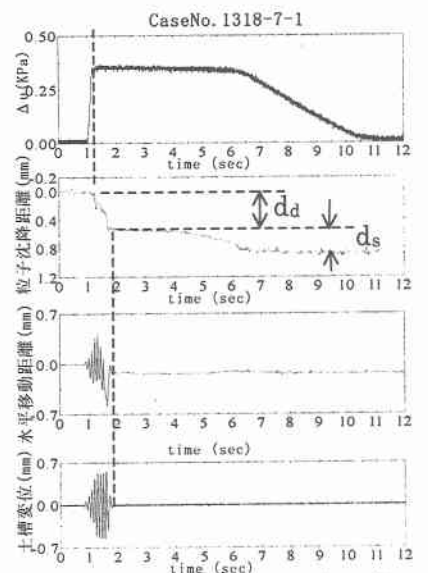


図-3 過剰間隙水圧、粒子沈降距離、粒子水平移動距離、土槽変位の時刻歴

図-4 に液状化にともなう体積ひずみと初期間隙比の関係を示す。この図から図-3 に示す実験条件下での  $\epsilon_v$  は瞬間液状化させた円筒実験により求めた値より小さいことが分かる。この理由は、加振中の体積ひずみ  $\epsilon_d$  により初期間隙比が減少したためと考えられ、繰り返し加振により液状化させた場合に加振時間が長くなると、土粒子が懸濁状態である時間が短くなることを意味している。

4.動的な間隙比変化の検討

振動台を用いた液状化試験の結果から、加振中の間隙比変化は初期間隙比と加振外力の大きさならびにその継続時間に支配される傾向が見られた。そこで加振中の間隙比の変化を調べるため、乾燥砂を用いた振動実験を実施した。このときの  $\epsilon_v$  は全て動的成分( $\epsilon_d$ )である。図-5 に体積ひずみ  $\epsilon_d$  と初期間隙比の関係を示す。この図から、 $\epsilon_d$  は次式で表される傾向を持つことが分かった。 $\alpha$  は加速度の絶対値を積分した累積加速度である。

$$\epsilon_d = \left( \frac{\alpha_m}{\alpha_1} \right)^{0.4} (0.1307e_0 - 0.1013) \quad (1)$$

$\alpha_m$  : 作用した累積加速度

$\alpha_1$  : 基準累積加速度(1000gal・sec)

式 (1)、(2) で表される  $\epsilon_d$  は、図-6 に示したように過剰間隙水圧が消散し、地表面沈下が生じなくなるまで加振した陶浪の実験結果<sup>2)</sup>とも整合する。土粒子が懸濁した状態で加振を継続した場合には、図-7 に示すように液状化後は懸濁液全体の振動と若干の位相ずれを持って土粒子が振動している。このため加振中の間隙比変化が生じると考えられるが、これについては更なる検討が必要である。

5.結論

- (1)加振停止と同時に液状化地盤の変形が止まるのは加振中に生じた間隙比変化の動的成分の為である。
- (2)間隙比変化の動的成分は初期間隙比および累積加速度の関数である。

参考文献

- 1) 大林淳,佐々木康：ポスト液状化地盤の体積圧縮特性とボーリング継続時間, 土木学会論文集, III-55/No680,2001.
- 2) 陶浪貞彦：不安定飽和砂の振動性状, 日本建築学会論文報告集, 第 114 号,pp.1-10,1965.

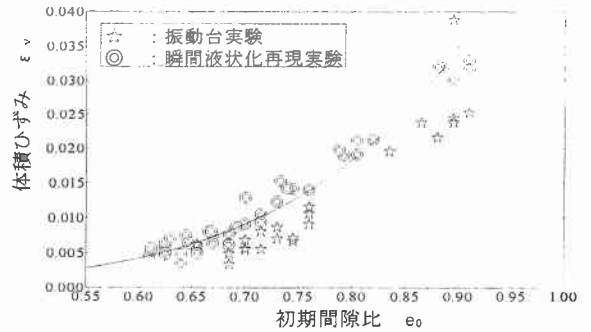


図-4 初期間隙比、体積ひずみ関係

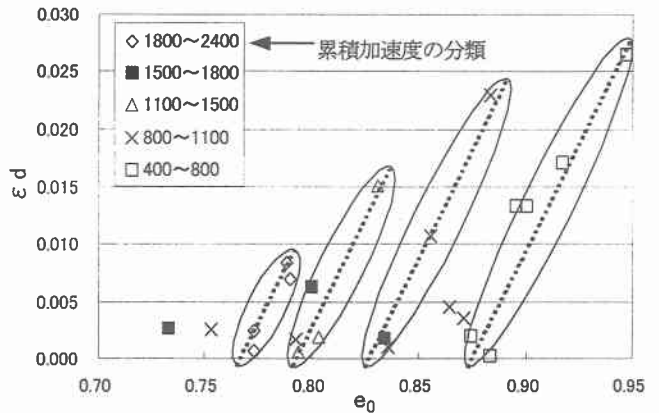


図-5 初期間隙比と  $\epsilon_d$ 、および累積加速度

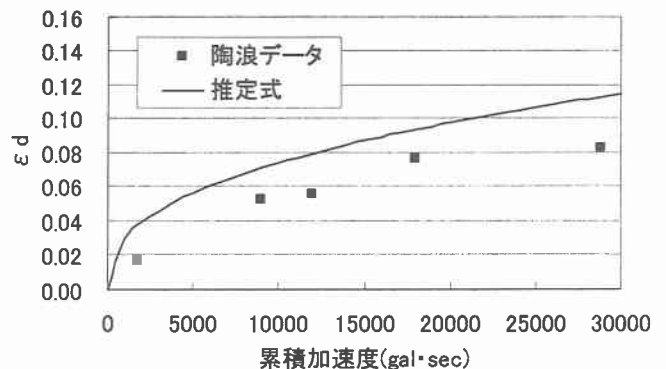


図-6 陶浪のデータとの比較

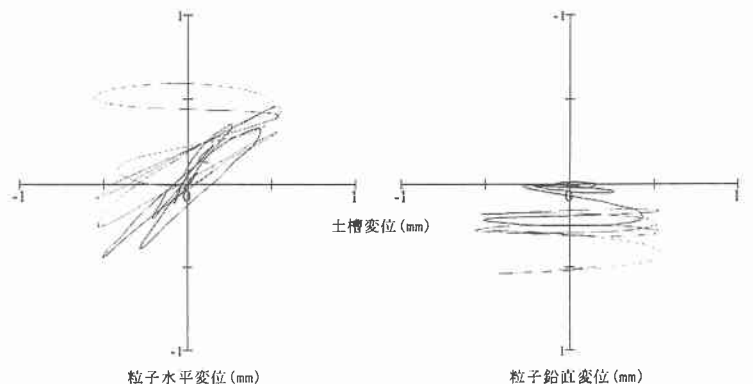


図-7 加振中における土粒子と懸濁液の位相ずれ