

大成建設 技術研究所 正会員 樋口 雄一
 “ “ 正会員 ○谷澤 房郎
 “ “ 正会員 末岡 徹

まえがき 筆者らは、液状化解析システム¹⁾を構築するために、遠心模型実験および有効応力解析法を用いて液状化現象を表現することを試みてきた^{2),3)}。本報では遠心実験結果を用いて、遠心模型実験における相似則の検討結果、また地盤の相対密度および間隙液の粘性が液状化挙動に及ぼす影響について報告する。

1. 実験方法

(1) 使用材料および実験装置

地盤材料は豊浦標準砂 ($G_s=2.65$, $e_{min}=0.973$, $e_{max}=0.606$) を用い、また地盤間隙液は透水速度に関する相似則を考慮して⁴⁾シリコンオイルを用いた。

実験容器は、軽量アルミ製せん断フレームを積み重ねて製作したせん断容器(内寸法:長さ56cm×奥行き25cm×高さ30cm)である。せん断フレーム間には、摩擦を低減するためにミニチュアローラーベアリングを取り付け、また容器内側にはメンブレン ($t=0.4mm$) を貼り付けた。

地盤内の間隙水圧および加速度はそれぞれ間隙水圧計、加速度計を用いて、また地表面沈下量はりん青銅板にひずみゲージを貼付して作成した片もち梁式変位計を用いて測定した。計器配置図を図-1に示す。

(2) 実験手順および実験条件

実験手順は以下の通りである。①実験容器に豊浦標準砂を気中落下法により、相対密度 $D_r=40\%$ を目標として地盤高さ20cmまで詰める。②地盤を下部よりシリコンオイルで飽和し、さらに実験容器を24時間、真空容器に入れて飽和度を高める。③実験容器を遠心装置に取り付け、所定の遠心加速度を与え3分間経過した後、目標加速度で加振する。なお、加振目標波はVELACS Project⁵⁾で用いられた波形(原型換算の周波数 $f=2\text{ Hz}$, 波数 $N=25$)で、実験では予め逆伝達関数を用いて補正⁶⁾した波を与えた。

実験条件を表-1に示す。ケースBはケースAと相対密度が異なり、ケースCは間隙液粘性が異なる。また、ケースMはModeling of modelsの手法により相似則の成立を確認するための実験ケースで、原型換算の地盤高さおよび加振波をケースAと一致させている。

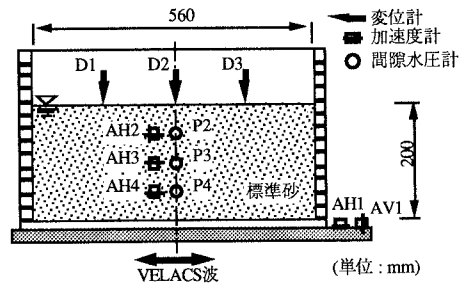


図-1 計器配置図

表-1 実験条件

ケース	相対密度 D_r (%)	地盤高さ h (cm)	間隙液粘性 (cSt)	遠心加速度 (G)	加振加速度 (G)	目的
A	40	20	50	50	12	基本ケース
B	60	20	50	50	12	相対密度の影響
C	40	20	1	50	12	間隙液粘性の影響
M	40	28.5	35	35	8.4	相似則の確認

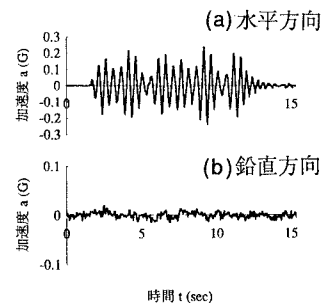


図-2 測定された振動台加速度(ケースA、原形換算)

2. 実験結果

図-2(a), (b)は、実験ケースAで測定された振動台の水平加速度、鉛直加速度である。(a)図より、原型換算の最大加速度は0.244Gで目標値(0.24G)にほぼ近い。また波形の再現性はかなり優れている。一方、(b)図より鉛直加速度は0.015G程度で、水平加速度と比べて十分に小さい。

図-3は、加速度 a および過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma_{v0}'$ の経時変化グラフである。過剰間隙水圧比の経時変化グラフより、いずれの深さでも $\Delta u/\sigma_{v0}' \geq 1$ となり、液状化を生じていることが分る。また加速度波形

より、加速度振幅は $N = 4$ 波目から減衰しており、この時点で液状化を生じたと考えられる。

図-4は地表面沈下量 s の経時変化を示したもので、沈下量 s は測定箇所により異なるが、概ね $s = 70 \sim 100\text{mm}$ 程度である。

(1) 相似則の確認

ケースMで得られた過剰間隙水圧比を、図-3中に示した。図より、ケースAおよびケースMの過剰間隙水圧の推移はほぼ一致している。さらに液状化に至るまでの波数は、ケースAの場合と同様に、いずれの深さでも $N = 4$ 波であったことから、本実験における相似則はほぼ成立していると考えられる。

(2) 地盤の相対密度の影響について

相対密度が $D_r = 60\%$ の場合(ケースB)、いずれの深さでも液状化を生じた。図-5は、深さ $d = 5\text{m}$ における過剰間隙水圧比、および加速度波形である。 $D_r = 40\%$ の場合(ケースA)と異なる点は、過剰間隙水圧の初期勾配が若干大きく、また液状化に至るまでの波数が $N = 7$ 波に増えていることである。

(3) 間隙液粘性の影響について

図-6は、間隙液として水を用いた場合(ケースC)の実験で得られた、各深さ($d = 2.5\text{m}$, 5m , 7.5m)における過剰間隙水圧比である。図より、 $d = 2.5\text{m}$ および $d = 5\text{m}$ では $\Delta u / \sigma_{v0}' = 1$ に至り液状化しているが、 $d = 7.5\text{m}$ では $\Delta u / \sigma_{v0}' < 1$ となり液状化を生じてい

ない。また過剰間隙水圧が消散するために要する時間は $t = 5$ 秒程度で、間隙液がシリコンオイルの場合(ケースA)の消散速度が $t = 5 \sim 10$ 分程度であったことと比べると、かなり短いことが分る。また、地表面沈下量は $s = 200 \sim 220\text{mm}$ 程度でシリコンオイルの場合の2~3倍であった。したがって、間隙液として水を用いると、液状化を生じる範囲や、液状化後の過剰間隙水圧分布が大きく異なる場合があることが分った。

4. まとめ

今回の研究では、実験回数が各ケースについて1回のみであったため、今後それぞれ複数回の実験を行って実験結果の信頼性を向上させたい。また、地盤材料が異なる場合、地表面が傾斜している場合、さらに構造物がある場合などにおける液状化現象について調べていく予定である。

参考文献 1) 五十嵐俊一ら：液状化解析システムの開発, 大成建設(株)テクニカルシート, 1995、2) スポットら：境界曲面と線形移動硬化を用いた繰返し載荷時の砂の構成則—液状化解析と遠心模型実験—, 第30回土質工学研究発表会講演集, 1995、3) Cubrinovski, M. et.al : Verification of a Constitutive Model for Sand by Seismic Centrifuge Tests, IS TOKYO '95, 1995. (to be published)、4) 田中満ら：遠心力場におけるシリコンオイルの透水性について, 第49回土木学会年次学術講演会概要集, pp.602~603, 1994、5) Arulanandan, K. & Scott, R.F. : VELACS Volume 1, 1231p., Balkema, 1993、6) Nagura, K. et.al : Development of an Earthquake Simulator for the TAISEI Centrifuge, CENTRIFUGE '94, pp.151-156, 1994.

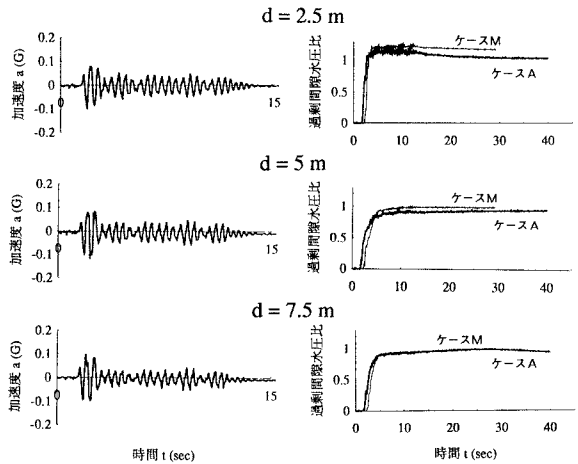


図-3 加速度および過剰間隙水圧(ケースA)

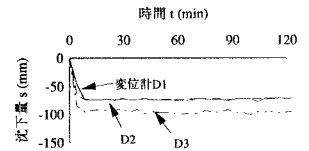


図-4 地表面沈下量の推移(ケースA)

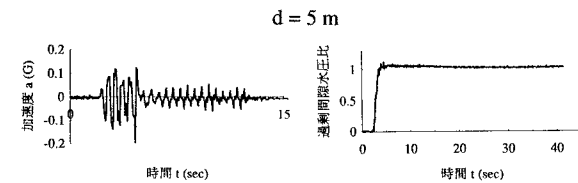


図-5 加速度および過剰間隙水圧(ケースB)

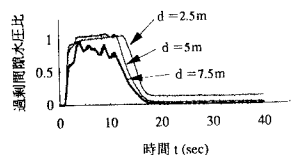


図-6 過剰間隙水圧の推移(ケースC)