

遠心模型振動実験による液状化時の2層傾斜地盤の側方流動特性

西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎 西松建設技術研究所 正会員 萩原敏行  
東京理科大学 正会員 石原研而 東京理科大学 正会員 塚本良道  
東京理科大学大学院 学生会員 ○平田吉伸

1. はじめに

筆者らは、液状化時の側方流動の発生メカニズムとその流動量の予測手法の確立を目的として、遠心模型実験による液状化に伴う傾斜地盤の側方流動特性に関する基礎的な研究を実施している<sup>1)</sup>。本報文では、地盤層厚10mを対象とする2層傾斜地盤の側方流動特性の把握を目的として、これまで行ってきた単層傾斜地盤に関する研究成果<sup>1)</sup>と併せて比較・検討した。

2. 実験概要

各種センサーの設置位置を含む実験システムの概要図を実物スケールに換算して図-1に示す。振動実験ではせん断土槽内に、水中落下法により一様な密度に作製された飽和地盤を50gの遠心力場におき、シルト層の圧密が完了した時点で土槽を2度(3.5%)傾斜させ、加速度180Gal(模型9g)、周波数2Hz(模型100Hz)の正弦波を土槽底面から20波与えた。実験は地盤の相対密度をパラメータとして、単層地盤では相対密度を3種類、2層地盤では下層5mの密度を一定とし、上層5mのシルトの相対密度を2種類に変化させ、表-1に示す5ケースを実施した。なお、地盤作製の詳細は文献<sup>1)</sup>に示した。

3. 実験結果および考察

単層地盤(Dr=45%、以下A2)と2層地盤(B1,B2)について、測点P3(2.5m)、P7(7.5m)における過剰間隙水圧比の時刻歴を図-2に示す。P3(2.5m)に着目すると、単層地盤(A2)では加振終了時点で過剰間隙水圧比が0.85に達しほぼ液状化に達しているのに対し、2層地盤のシルト上層では加振後、過剰間隙水圧比が0.65~0.7となるまで長い時間を要して上昇していく様子が窺われる。

一方、P7(7.5m)では、3ケース(A2,B1,B2)ともに加振初期の過剰間隙水圧比の上昇勾配はほぼ同じで、加振終了付近(10sec)で過剰間隙水圧比が0.8~0.9に達し、ほぼ液状化していると判断できる。また、2層地盤での過剰間隙水圧の消散過程は、上層の密度が小さいほど消散が早く進行している。これは上部のシルト層の密度が小さいほど、過剰間隙水圧の地表への消散が促進されるためである。以上から、2層地盤砂層の過剰間隙水圧の加振直後の低下は砂層の透水係数に影響し、次の低下はシルト層への砂層の過剰間隙水圧の消散に伴い、砂層の過剰間隙水圧はシルト層の密度の大小に応じて緩やかに消散していくことが推察される。

キーワード：側方流動、遠心模型実験、液状化、斜面、砂、シルト

連絡先：千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部 :0471-24-1501 Fax:0471-23-9766

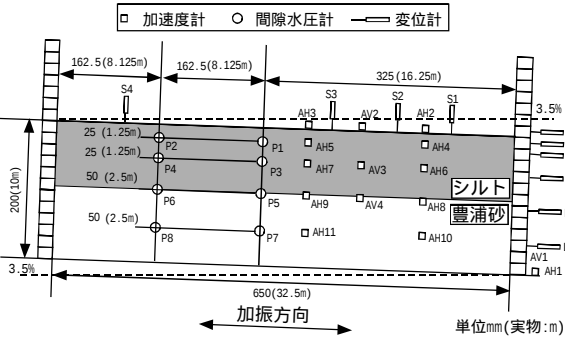


図-1 実験システムおよびセンサー設置位置

表-1 実験ケース

| 実験ケース | 試料  | Dr (%) | 層厚 (mm) | 傾斜角 (%) | 透水係数 (cm/sec)            | 備考   |
|-------|-----|--------|---------|---------|--------------------------|------|
| A1    | 豊浦砂 | 25     | 200     | 3.5     | $k_1=2.2 \times 10^{-2}$ | 単層地盤 |
| A2    | 豊浦砂 | 45     | 200     | 3.5     | $k_2=2.0 \times 10^{-2}$ | 単層地盤 |
| A3    | 豊浦砂 | 65     | 200     | 3.5     | $k_3=1.8 \times 10^{-2}$ | 単層地盤 |
| B1    | シルト | 45     | 100     | 3.5     | $k_4=8.5 \times 10^{-5}$ | 2層地盤 |
| B2    | 豊浦砂 | 45     | 100     | 3.5     | $k_5=6.3 \times 10^{-5}$ | 2層地盤 |
|       | シルト | 65     | 100     |         |                          |      |

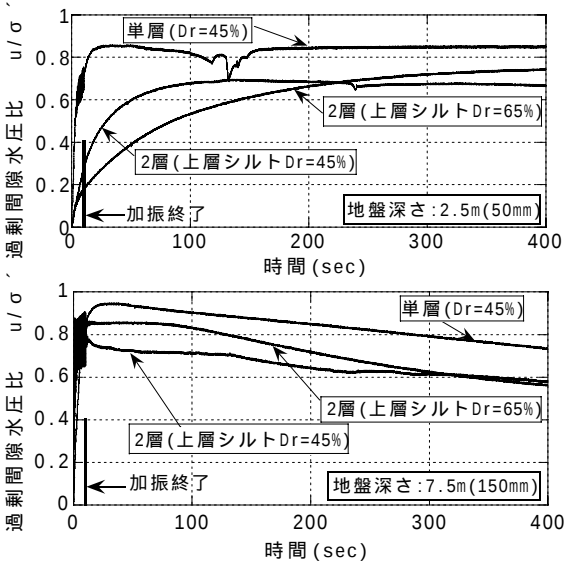


図-2 過剰間隙水圧比の時刻歴

加振中の側方変位について、波数毎に整理し比較したものを図-3に示す。左図に示した単層地盤では、加振直後 ( $t=1.0\text{sec}$ , 2波目) における流動量に明確な差が見られないが、加振後  $t=2.0\text{sec}$  (4波目) では地表から深さ 3m 付近までが剛体的に流動していることが判る。

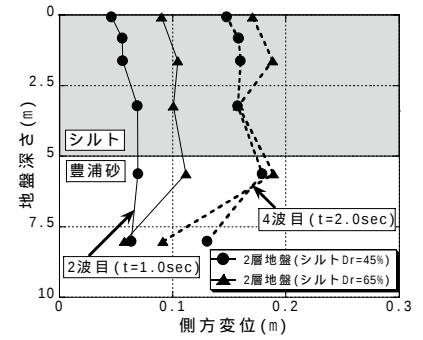
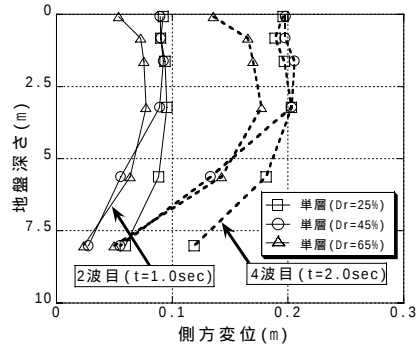


図-3 加振初期における側方変位分布

一方、図-3右図に示した2層地盤の加振直後 ( $t=1.0\text{sec}$ ) の段階では、地盤全体が剛体的に大きく流動し、加振後  $t=2.0\text{sec}$  から加振終了時  $t=10\text{sec}$  (20波目) までは、シルト層とその境界部近傍を含めた範囲が剛体的に流動していることが判る (図-4 参照)。特に2層地盤での上下層の境界面 (深さ 5.0m 付近) が大きく流動する結果となった。なお、単層地盤の上層で剛体的な流動を生じる結果は、Dobry ら<sup>2)</sup>の実験結果と定性的によく一致していることを確認している。

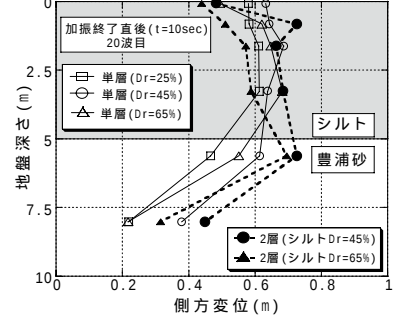


図-4 加振後における側方変位分布

次に、深さ方向の最大流動速度分布について比較したものを図-5に示す。単層地盤では、深さ約 1.0m ~ 3.5m 付近と地表面付近に最大流動速度が生じているのに対し、2層地盤ではシルト層と下部砂層との境界面付近 (深さ約 3.0m ~ 5.5m) に最大流動速度が大きく集中していることが判る。よって、2層地盤では上部のシルト層と下部の豊浦砂の境界部付近での地盤の滑動が速いことから、上部にシルト層、下部に液状化層からなる2層傾斜地盤では、液状化発生に伴い2層地盤境界部の変位が地表面と比べ相対的に大きく生じることが予測される。Dobry ら<sup>2)</sup>をはじめ既往の研究からも、液状化層の上部に透水係数の小さいシルト層があると、水膜層を生じ地盤の安定性を著しく低下させることが判っている。今回の実験結果から最大流動速度が2層地盤境界部付近に発生した一因として、液状化時に発生した水膜層が考えられる。

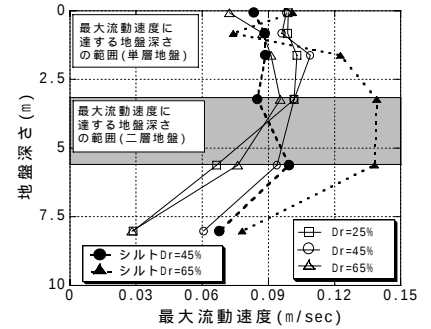


図-5 地盤深さと最大流動速度の関係

単層・2層地盤では各ケースともに、全側方変位のほぼ 80% が加振中に発生した。その加振中の側方変位から流動面積増分量を波数毎に整理しプロットしたものを図-6に示す。加振直後に下層が液状化に至る付近の 4 ~ 5 波目にて流動増分量がピークに達し、このピーク以降の流動増分量は徐々に減少し、加振後も流動し続けていることが判る。特に、シルト層の透水係数が小さな B2 ケースでは、B1 ケースに比べ下部砂層の過剰間隙水圧の消散に時間を要するため、流動面積増分量も大きくなっていると判断できる。

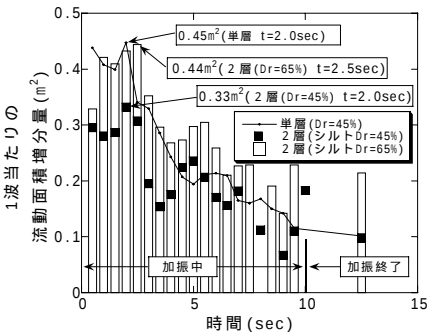


図-6 流動面積増分量の経時変化について

#### 4. おわりに

本実験から、2層傾斜地盤における液状化時の流動特性に関して、上部シルト層の相対密度が過剰間隙水圧の上昇・消散過程、側方流動特性などに及ぼす影響について明らかにすることができた。

最後に、本研究の実施にあたり努力して頂いた東京理科大学理工学部 今 広人氏に謝意を表します。

参考文献：1) 今村・萩原・石原・塚本・今：傾斜地盤の側方流動特性に関する遠心振動模型実験，第 36 回地盤工学研究発表会，2001。 2) R.Dobry, V.Taboada & L.Liu: Centrifuge modeling of liquefaction effects during earthquakes, Earthquake Geotechnical Engineering, pp1291 ~ 1321, 1997。