# 液状化後の沈下挙動に関する実験と解析

| 京都大学大学院   |     | ○森谷 | 亮  |
|-----------|-----|-----|----|
| 京都大学防災研究所 | 正会員 | 井合  | 進  |
| 京都大学防災研究所 | 正会員 | 飛田想 | 钉男 |

### 1. はじめに

大地震により地盤が液状化し、地表面に不同沈下が発生することは広く知られている<sup>例えば1)</sup>.しかし、液状化の開始 から間隙水圧が消散するまでの一連の地盤の挙動を数値モデルにより高い精度で再現した事例は極めて少ない.そこで 本研究では、水平成層砂地盤の液状化過程および間隙水圧の消散と地盤沈下挙動に着目した遠心模型実験を実施し、そ の後、同実験に対する数値解析を行い解析手法の妥当性を検討する.

### 2. 遠心模型実験

京都大学防災研究所の遠心力載荷装置(有効回転半径 2.5m)を用い,50Gの遠心力場で模型振動台実験を行った.図 1 に示す実験模型は実物スケールで深さ12.5mの水平成層砂地盤である.地盤には豊浦砂を用い,相対密度は50%また は70%とした.間隙水は,相似則により水の50分の1の透水係数となるよう調整した粘性流体(メトローズ)を用い た.加速度計,間隙水圧計,変位計,土圧計を図1に示す位置に設置した.地表面沈下量については,レーザー式変位 計による計測と加振前後の定規による実測を行った.入力波は,正弦波と兵庫県南部地震時に神戸ポートアイランドの アレー観測点で観測された記録を元に作成された「神戸 PI 波」を用いた.表1に示すように,正弦波については,加振 振幅と加振時間を段階的に増加させる「ステップ加振」と1波のみの加振で大振幅,長時間振動を入力する「1波加振」 を行った.ステップ加振は一つの模型に対し連続的に行った.神戸 PI 波については,加振振幅のみを変化させ,正弦波 と同様に加振した.図2に示す入力加速度最大振幅-沈下量関係より,層厚に対し最大約5%程度(600 mm)の沈下が 発生していることがわかる.また入力加速度が大きく,地盤が緩いほど沈下量が大きいことがわかる.

#### 3. 1次元地震応答解析

本研究では、液状化時及び液状化後の過剰間隙水圧の消散過程を模擬する機能を追加したバージョンの解析プログラム FLIP<sup>2)</sup> を用いる.本プログラムは土の力学モデルとしての応力-ひずみ関係は多重せん断ばねモデル<sup>3)</sup> を、液状化による有効応力の減少には液状化フロントモデルを採用している.まず、室内要素試験結果より要素レベルでの非排水繰返し載荷過程を再現し、液状化強度曲線が実験と解析で一致するようパラメータを同定した(図3,表2,表3).次に遠心模型実験に対応する1次元地震応答解析を実施し、加速度応答、過剰間隙水圧応答、地表面の沈下応答等を比較し、解析プログラムの適用性を検討した.特に沈下挙動に着目すると、表3のパラメータセット①の透水係数では水圧消散時間が長く、沈下量を過小評価する結果となった.そこで透水係数を20倍に大きくしたところ(パラメータセット②),消散時間,沈下量ともに実験結果を良く再現する結果となった(図4と5).この原因としては、実験に使用した粘性流体の粘性が想定したものよりも小さくなっていたこと、すなわち実験時の透水係数が大きくなっていたことが考えられる.この点については、今後他の実験ケースとの比較を行うなど詳細に検討しなければならない.次に体積ひずみと有効拘束圧に着目してみると(図6と7)、同図(a)に示すように、実験データからは、加振中の「締固め」と加振後の水圧消散による「圧密」の境界部が曲線の傾きにより区別できる.この傾向は解析結果にも見受けられるが(同図(b))、その境界は実験結果ほど明瞭ではない.

## 4. 結論

飽和砂による水平成層地盤に対する遠心模型実験より,加振レベルと地表面沈下量との間に正の相関があることがわ かった.加振開始から水圧消散までの地盤の一連の沈下挙動は,「加振に伴う締固め」と「間隙水圧の消散による圧密」 の2段階に分けられる.解析では,透水係数を20倍にすれば,過剰間隙水圧の最大値を過小評価するものの,沈下量 も含めて最もよく実験結果を再現できた.この原因としては,実験に使用した粘性流体の粘性が想定したものよりも小 さくなっていたことなどが考えられる.また,体積ひずみと有効拘束圧の関係に着目すると,実験では加振中の「締固 め」と加振後の水圧消散による「圧密」の境界部が曲線の傾きにより区別できる.同様の傾向は解析においても再現さ れており,解析手法の妥当性が示された.

参考文献 1) Ishihara, K., and Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 32(1), 173-188. (2) Iai, S., et al. (1992). Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 32, No. 2, 1-15. 3) Towhata, I. and Ishihara, K. (1985). Shear work and pore water pressure in undrained shear, Soils and Foundations, 25, No. 3, 73-8.

キーワード 液状化 遠心模型実験 地震応答 有効応力解析

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄京都大学防災研究所 TEL: 0774-38-4092

