

格子状改良壁体内の砂地盤の液状化に関する Modeling of models

港湾空港技術研究所 正会員 ○石橋 伸司, 高橋 英紀, 北詰 昌樹

1. はじめに

液状化現象を対象とした動的遠心模型実験の例は多く、それに伴った数値解析の妥当性も検討されてきた。しかし、遠心模型実験装置を使った液状化実験が実物スケールの挙動を果たして再現しているか検討した研究は非常に限られている。本研究では、Modeling of models 手法を用いて実物スケールの液状化現象の再現性について検討した。本実験では格子状改良壁体で囲まれた飽和砂地盤を想定し、改良壁体の影響を受ける砂地盤の液状化現象について再現性を検討した。

2. 地盤の作製方法と実験方法

本研究における格子の大きさは、動的 FEM による予備解析を行って、改良壁体が地盤の液状化特性に影響を与える範囲を調べて決定した。実物スケールに換算すると、横幅 6.0m、深さ 3.5m、奥行き 1.8m の格子である。Modeling of models 実験では、遠心加速度を 10g、25g、50g で行い、模型寸法は実物スケールをそれぞれの相似則に従うように決めた。加速度計と間隙水圧計を実物スケールで地表面からの深さ 1.0m と 2.5m に相当する位置に設置した。筆者らは、遠心模型実験における液状化地盤作製方法とその飽和度について、P 波速度を用いて調べ、乾燥砂地盤の間隙を炭酸ガスに置換した後、真空中で粘性流体を通水する方法が最も飽和度を高める方法であることを明確にした¹⁾。本研究では、この飽和度が最も高くなる方法で飽和砂地盤を作製した。また、砂試料には相馬硅砂 5 号を用いた。

表-1 に実験ケースと地盤条件を示した。ただし、実験装置の不具合などによってデータを取得できなかった実験ケースは除外した。遠心模型実験では、所定の遠心加速度に到達した後に、振動台によって 50 波の正弦波を加えた。振動数（周期）を実物換算で 4Hz (0.25s) とし、振動加速度は実物換算で 75, 150, 300, 450gal の 4 種類を目標とした。ただし、実験ケース M10-4 と M10-5 では、振動加速度の増加による過剰間隙水圧の上昇傾向を詳細に調べることを念頭において、振動加速度の増分を細かくして実験を行った。

表-1 実験ケース一覧

実験 ケース	遠心 加速度 (g)	相対 密度 D_r (%)	動粘度 (cSt)	飽和度 S_r (%)
M50-3	50	48.7	44.1	104.5
M50-4		51.0	41.6	109.0
M25-5	25	33.9	18.3	113.0
M25-6		53.0	20.9	101.8
M10-4	10	46.2	13.1	101.9
M10-5		44.0	13.2	101.7
M10-6		50.0	4.9	101.8

3. 実験結果

1) 応答加速度特性 図-1 は実験ケース M25-6 において、試料容器天端での振動加速度が 92gal と 184gal の場合の深さ 1.0m における加速度波形を示している。振動加速度が 92gal で比較的小さい場合、振動加速度とほぼ同様の加速度が地盤内で計測されるが、振動加速度 184gal では 3 波目以降に加速度が急激に減少する傾向が見られた。これは発生した過剰間隙水圧によって土粒子の骨格が崩れ液状化したために、試料容器の振動が伝播しなかったと考えられる。このような液状化時における地盤内の応答加速度の特性を 3 種類の遠心加速度で調べた。図-2 は、全実験ケースにおいて振動加速度と深さ 1.0m の地盤内の応答加速度の関係について示している。図中、試料容器天端での振動加速度の最大値を横軸に、地盤中の応答加速度の最大値を縦軸に示した。尚、振動中に地盤が液状化して応答加速度が急激に減少したケースについては、減少した後の最大加速度をプロットした。振動加速度が約 130gal 以下の場合には遠心加速度に関係なく振動加速度とほぼ同程度の応答加速度が計測された。振動加速度が約 150gal 以上になると、遠心加速度に関係なく応答加速度は振動加速度より小さくなる傾向が見られ、地盤が液状化したことを示している。このように、実物スケールで 1.0m の深度では約 130~150gal 以上の振動を加えることによって地盤が液状化し応答加速度が減少することが、全ての遠

キーワード 液状化, 遠心力模型実験, Modeling of models, 高剛性壁体

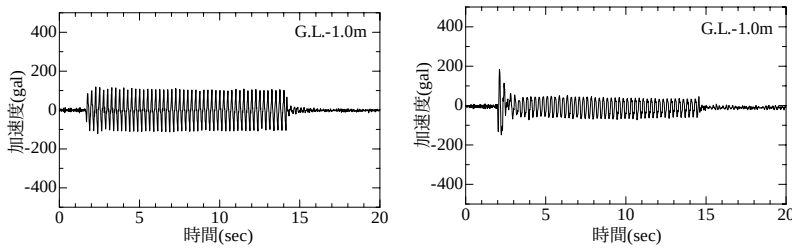


図-1 応答加速度特性(M25-6)

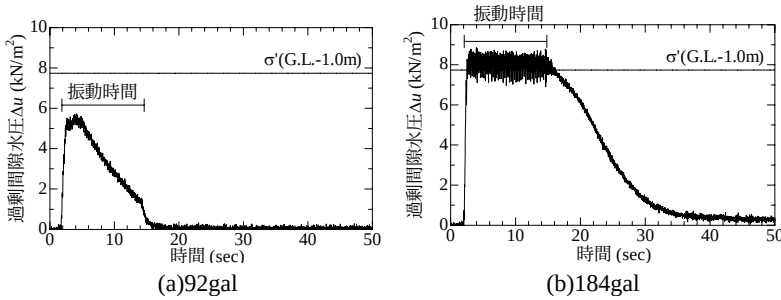


図-3 過剰間隙水圧特性(M25-6)

心加速度での実験において確認できた。つまり、液状化地盤の振動特性に関しては遠心模型実験の再現性が高いことが分かった。

2) 過剰間隙水圧特性 図-3 には、実験ケース M25-6 において振動加速度が 92gal, 184gal の場合の深さ 1.0m での過剰間隙水圧の経時変化を示している。尚、鉛直方向の有効応力を実線で示している。振動加速度が小さい 92gal では、振動中に過剰間隙水圧は減少するが、184gal の振動加速度を加えると、過剰間隙水圧は、有効応力とほぼ等しくなるまで上昇し、振動終了後に消散する傾向が見られる。これは、図-1 における振動加速度 184gal での応答加速度特性と整合している。これらの傾向について、3 種類の遠心加速度で調べた。全実験ケースについて、振動加速度と振動中の最大過剰間隙水圧比の関係を図-4 に示している。ただし、縦軸には最大過剰間隙水圧比を示した。また、図-2 で得られた応答加速度から判断した地盤が液状化する振動加速度を併せて示している。図中、遠心加速度 50g での実験ケース M50-3 と M50-4 では、振動加速度が 140~150 gal の時に過剰間隙水圧比が 1.0 付近まで急激に上昇していた。遠心加速度が 25g と 10g での実験ケース M25-5, M25-6, M10-6 においては、振動加速度が 80~150gal の時に過剰間隙水圧比が 1.0 まで上昇し液状化していた。いずれの遠心加速度においても振動加速度が 150gal 以上になると、間隙水圧比はほぼ一定となり液状化していることがわかる。振動加速度の増分を細かくして振動回数を他の実験ケースの 3 倍にした実験ケース M10-4 と M10-5 では、振動加速度が大きくなっても過剰間隙水圧比は 1.0 近くまで上昇する傾向は見られなかった。これは、砂地盤が締め固まり液状化しにくくなったためと推測されるが、詳細な原因については不明である。ここで、応答加速度から判断した液状化範囲を重ねてみると、応答加速度から判断した液状化範囲を超えた振動加速度 150gal 付近で、過剰間隙水圧比はほぼ 1.0 と安定しており、その傾向は遠心加速度に関わらず見られる。また、応答加速度と過剰間隙水圧比の液状化現象に整合性があることも分かる。このように、過剰間隙水圧特性においても、遠心模型実験の再現性が高いことが分かった。

5. おわりに

紙面の都合上、深さ 2.5m の実験結果は掲載できなかったが、深さ 1.0m と同様に、遠心加速度に関わらず応答加速度と間隙水圧の傾向は整合しており、液状化に関する遠心模型実験の再現性を確認することができた。

参考文献

1) 石橋伸司, 北詰昌樹, 高橋英紀: 遠心模型実験のための粘性流体による液状化地盤作製方法に関する研究, 第 31 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2004.

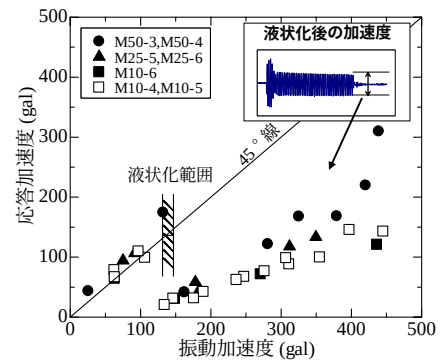


図-2 振動加速度と応答加速度の関係

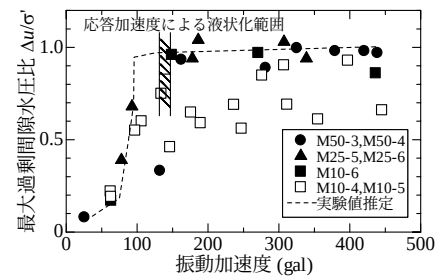


図-4 振動加速度と最大過剰間隙水圧比の関係