

直接基礎構造物の沈下に着目した中間土の液状化に関する遠心模型実験

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○居上 靖弘, 宇野 浩樹
正会員 立石 章, 忠野 祐介
非会員 船原 英樹

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、浦安など東京湾沿岸の埋立地において大規模な液状化が発生し、多くの構造物が沈下した¹⁾。当該埋立地は、中間土（細粒分を含む砂質土）で構成されている場合が多いが、中間土の液状化による変形量予測に資するデータは十分でない。そこで本研究では、中間土の液状化による変形量予測の精度向上を目指し、その基礎データを取得するため、中間土を用いた動的遠心模型実験を実施した。実験結果の考察においては、立石ら²⁾が行った豊浦砂を用いた実験結果との比較を行った。

2. 実験条件

1/50 スケールの模型を作製し、遠心加速度 50G 場で加振実験を実施した。試料は浦安で採取した攪乱試料の 2mm ふり通過分（細粒分含有率 $F_c=29.6\%$ 。以下、中間土）を用いた。表 1 に中間土と豊浦砂の非排水繰返し三軸試験結果を示す。

後述するケース I-2 の実験模型と計測位置を模型スケールで図 1 に示す。長さ 940mm×奥行き 260mm×厚さ 295mm の剛土槽を用い、構造物は長さ 80mm×奥行き 80mm×高さ 40mm で、50G 場での接地圧が 53kN/m² のものを用いた。剛土槽内に、厚さ 180mm の模型地盤を作製した。模型地盤は動粘度 50cSt（液温 20℃、濃度 2%）に調整したセルロースエーテル水溶液により飽和させた。忠野ら³⁾は間隙流体の違いによる、中間土の圧密特性について検討しており、シリコンオイルでの $e-\ln p'$ 関係の圧縮指数 ($\lambda=0.050$) が水での圧縮指数 ($\lambda=0.097$) の 1/2 程度となり、実験結果に影響すると考えたため、本実験ではセルロースエーテル水溶液を用いた。模型作製の飽和過程における水締めによる体積収縮を考慮し、予め緩く地盤を作製した。計測項目は、水平加速度、間隙水圧、鉛直変位とした。

実験ケースを表 2 に示す。立石ら²⁾による豊浦砂の実験結果を比較の対象とする。地盤上の直接基礎構造物の有無と地盤材料の違いをパラメータとした計 4 ケースである。図 2 に本実験で入力した地震動を示す。長継続時間地震動として、南海トラフによる名古屋港の基盤入力地震動（最大加速度 365cm/s²）⁴⁾を選定した。

3. 実験結果

遠心実験で得られた結果を実物スケールで示す。出力
キーワード 液状化, 中間土, 遠心模型実験, 流動変形

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7217

表 1 非排水繰返し三軸試験結果

材料名	中間土	豊浦砂
間隙流体	セルロースエーテル水溶液	水
動粘性係数	42~51 ^{*1}	1.0
圧密後間隙比	0.976~0.997	0.748~0.752
液状化強度 ^{*2}	0.22	0.19

*1: 動粘性係数は室温20℃での値
*2: 正弦波, 載荷周波数 $f=0.01\text{Hz}$, $\sigma'_c=49\text{kPa}$

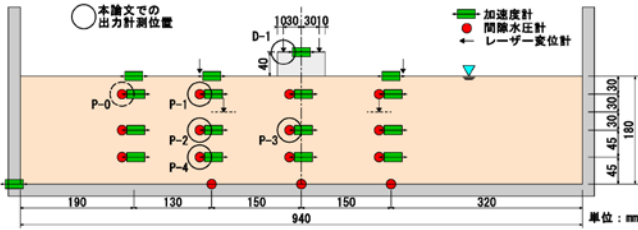


図 1 遠心載荷実験模型 (I-2)

表 2 実験ケース

ケース名	I-1	I-2	T-1 ²⁾	T-2 ²⁾
材料	中間土	中間土	豊浦砂	豊浦砂
加振直前間隙比	0.956	0.900	0.706	0.716
間隙流体	セルロースエーテル水溶液	セルロースエーテル水溶液	シリコンオイル	シリコンオイル
動粘性係数 ^{*1}	50	50	200	200
地下水位	G.L.0.0m	G.L.0.0m	G.L.0.0m	G.L.0.0m
構造物	なし	あり	なし	あり

*1: 動粘性係数は室温20℃での値

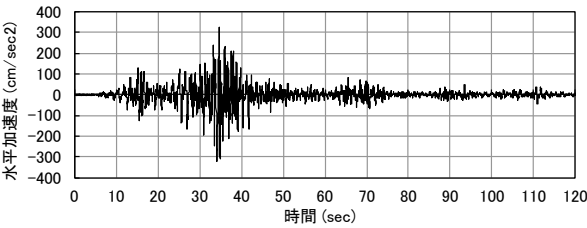


図 2 入力地震動

位置は図 1 に示す通りである。図 3～図 6 に過剰間隙水圧比を示す。図 3 の T-2 に関しては、センサーの不良により測定出来なかったため、同一深度である地点 P-0 の過剰間隙水圧比を示す。尚、過剰間隙水圧比は構造物による上載圧の影響を考慮して評価している。図 7 に構造物ありのケースにおける構造物上面の鉛直変位を示す。

まず、側方地盤の過剰間隙水圧比について述べる。深度-1.5mと浅い P-1 (図 3) において、すべてのケースで過剰間隙水圧比が 1.0 に達し、液状化した。深度-4.5m の P-2 (図 4) および深度-6.75m の P-4 (図 6) と深い地点では、豊浦砂の T-1 と T-2 は過剰間隙水圧比が 1.0 に達したのに対して、中間土の I-1 と I-2 では、過剰間隙水圧比は 0.6～0.8 となり、液状化していない。表 2 の各材料の液状化強度を比較すると、中間土の方が高い値を示しており、液状化層が浅い層に限定された要因と考えられる。また、図 4 において、豊浦砂で液状化する時間は 25 秒あたり、中間土で過剰間隙水圧比が頭打ちとなる時間は 35～40 秒あたりである。これは後述する構造物の急激な沈下のタイミングと概ね一致している。

P-2 と同一深度 (G.L.-4.5m) で構造物直下に位置する P-3 (図 5) では、豊浦砂を用いた構造物ありの T-2 は、構造物なしの T-1 に比べ過剰間隙水圧比が抑えられていることが分かる。これは構造物直下地盤が軸差せん断破壊状態に至り、過剰間隙水圧の上昇が止まったためと推察される²⁾。一方で、中間土では、構造物の有無に関わらず、P-2 および P-3 で液状化しなかったため、軸差せん断破壊に至るメカニズムは、確認されなかった。

図 7 に示した構造物の鉛直変位については、急激な沈下が、T-2 では 25 秒あたりから、I-2 では 35 秒あたりから発生している。加振開始から 120 秒後の鉛直変位は、T-2 で 47.6cm、I-2 で 26.6cm となり、中間土のケースの方が小さくなった。これは前述した液状化層厚が影響していると考えられる。

4. まとめ

中間土の液状化を対象とした動的遠心模型実験を実施し、既往の豊浦砂を用いた実験と比較した。今後は、動的有効応力解析等によりシミュレーションを行う予定である。

参考文献

- 1)浦安市：液状化対策実現可能性技術検討委員会，2012，<http://www.city.urayasu.lg.jp/shisei/johokoukai/shingika/i/toshiseibi/1002853/index.html>。 2)立石・小林：地下水位低下工法の沈下量抑制効果に関する遠心模型振動実験（その 2），第 49 回地盤工学研究発表会，2014。 3)忠野・宇野・立石：遠心模型実験に用いる間隙流体が中間土の特性に与える影響について，土木学会第 71 回年次学術講演会，311-312，2016。 4)内閣府 中央防災会議：南海トラフの巨大地震モデル検討会（基本ケース，名古屋港付近），2012，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>。

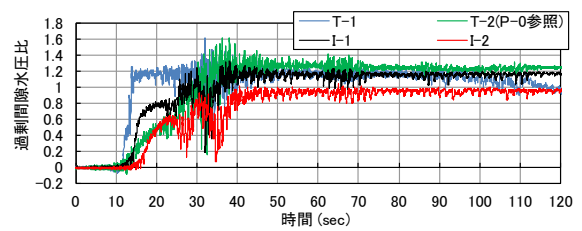


図 3 過剰間隙水圧比 (地点 P-1, G.L.-1.5m)

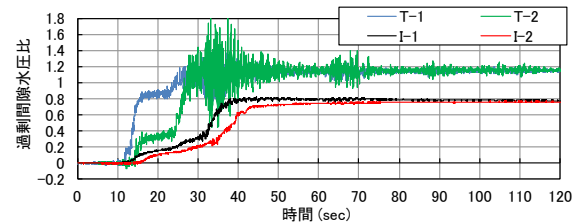


図 4 過剰間隙水圧比 (地点 P-2, G.L.-4.5m)

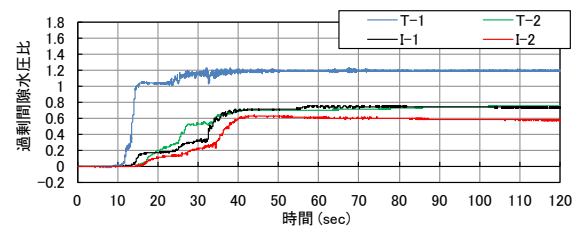


図 5 過剰間隙水圧比 (地点 P-3, G.L.-4.5m)

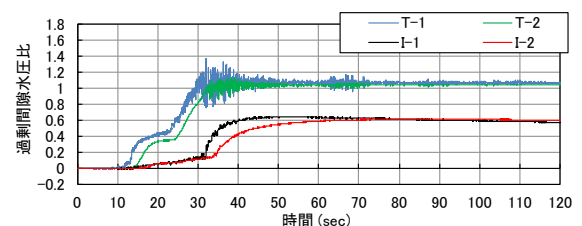


図 6 過剰間隙水圧比 (地点 P-4, G.L.-6.75m)

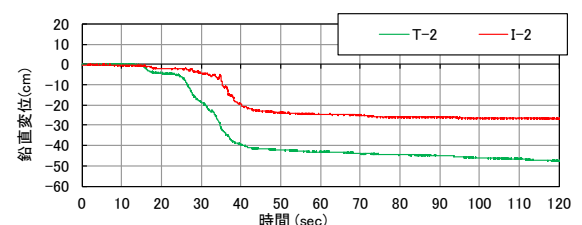


図 7 構造物上面 (D-1) の鉛直変位