

砂地盤と対比した礫地盤の地震時挙動に関する遠心模型実験（その2）

鹿島建設(株) 正会員 ○笹岡里衣 岡本道孝 藤崎勝利
中央大学 正会員 國生剛治

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震以降、液状化を想定してこなかった粗粒材料を含む礫地盤の液状化を考慮して、施設の耐震性評価が行われるケースが増加している。一方、既往の調査では、過剰間隙水圧比が 1 に達しても、礫地盤は砂地盤とは異なる挙動を示すことが指摘されている¹⁾。このように礫地盤の地震時挙動については、未解明な部分が多いことから、筆者らは遠心模型実験を通じて礫地盤の地震時挙動について検討を進めている²⁾。

2. 実験概要

模型地盤の諸元を表-1、断面図を図-1 に示す。模型には、3 深度 (GL-1.5m, GL-4.5m, GL-8.5m, 実規模換算値) に加速度計と間隙水圧計を埋設し、地表面中央部に非接触式変位計を設置した。模型地盤は最大粒径 $D_{max}=9.5\text{mm}$ の珪砂を用いて作製した。実験試料の粒度分布を図-2 に実線で示す。なお、同図中に、後述する既往研究に用いられた Fuji river sand の粒度分布³⁾、埋立地の液状化対策ハンドブック⁴⁾に記載されている液状化の可能性がある範囲 ($U_e \geq 3.5$ の場合)、および道路橋示方書⁵⁾に定められている液状化の判定が求められる土層条件 (50%粒径 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ 10%粒径 $D_{10} \leq 1\text{mm}$) を併記した。実験試料の実規模換算粒度を各基準の粒度と比較した場合、液状化のリスクは低いと評価される。実験には、せん断土槽 (L:650mm, H:300mm, W:200mm) を使用し、模型地盤高さは 170mm (下層の 160mm を飽和層、上層の 10mm を不飽和層) とした。試料を空中落下法で土槽内に投入後、相対密度 $D_r=60\%$ になるように締め固めて地盤を作製し、その後、土槽を脱気槽内に静置して、土槽底面から間隙流体を模型地盤内に 12 時間かけて浸透させた。地盤の透水性が、地震動を受けた地盤の体積圧縮挙動に及ぼす影響を確認することを目的とし、飽和のための間隙流体には、脱気水と動粘度 $50\text{mm}^2/\text{s}$ の粘性流体 (silicone oil) を用いた。実験は遠心加速度 50G 場で行い、地震波として最大加速度 500gal, 1.2Hz の正弦波を 20 波入力した。なお、この前後には、振幅を 0 から 100%まで漸増・漸減させる正弦波を 3 波ずつ入力した。以降の文、図中の値は実規模換算値で表記する。

3. 遠心模型実験結果

3.1 礫地盤の地震時挙動

加速度の時刻歴応答を図-3 に示す。粘性流体のケースにおける GL-1.5m のみ、最大加速度を示した後、時間経過に伴い加速度が低下したが、他の計測箇所では、加速度の低下は確認されなかった。過剰間隙水圧の時刻歴応答を図-4 に示す。図中に各深度の有効土被り圧 σ'_{v0} を破線で示した。両者の傾向として、深度が深いほど、加振中の過剰間隙水圧は顕著な増減を繰り返した。地表面の鉛直変位の時刻歴応答を図-5 に示す。脱気水、粘性流体ともに、加振直後に隆起した後、加振の継続とともに沈下した。今回の実験では、脱気水のケースの沈下量が大きく約 240mm で、飽和層の層厚 (8m) から求めた平均的な体積ひずみ ε_v は 3% となった。

表-1 模型地盤の諸元

模型地盤		
最大粒径	D_{max}	9.5 mm
礫分含有率	G_c	60%
細粒分含有率	F_c	8%
均等係数	U_c	32
相対密度	D_r	60%
乾燥密度	ρ_d	1.98 g/cm ³
間隙比	e	0.32
間隙流体		
比重 (25℃)	脱気水	1.00
	粘性流体	0.96
動粘度 (25℃)	脱気水	1 mm ² /s
	粘性流体	50 mm ² /s
透水係数	1G場	2.0×10^{-2} [cm/s]
	50G場	1.0×10^0
		9.2×10^{-4}

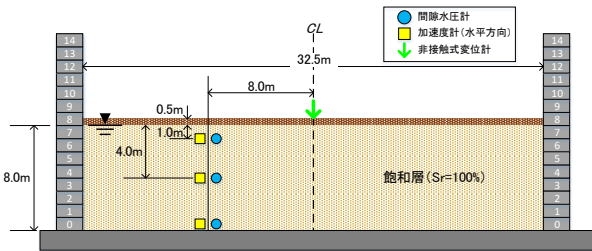


図-1 模型断面図(実規模換算値)

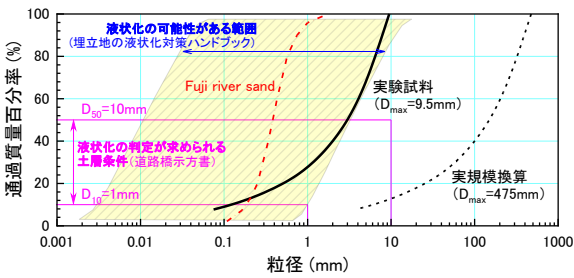


図-2 粒度分布^{3, 4, 5)}

キーワード: 礫質土, 液状化, 遠心模型実験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 土質・地盤 Gr TEL042-489-6499

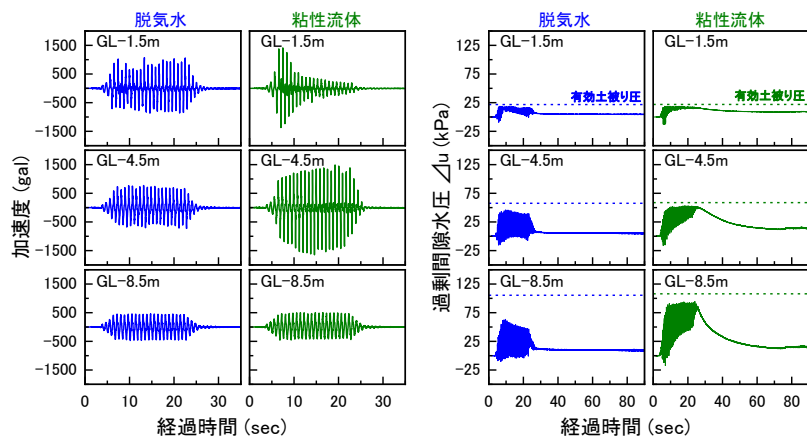


図-3 加速度応答値

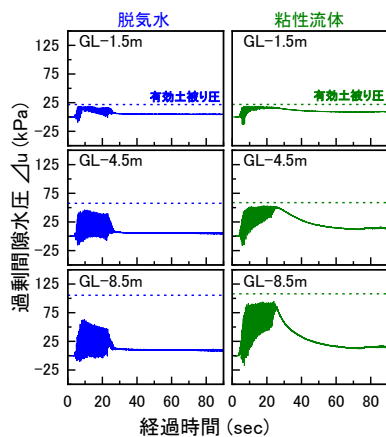


図-4 過剰間隙水圧応答値

これらの応答値の深度分布を図-6に示す。図-6(左)に各深度の最大加速度 $|a_{\max}|$ を入力加速度 $a_0=500\text{gal}$ で正規化した正規化加速度 $|a_{\max}|/a_0$ を示す。間隙流体の種類にかかわらず、地表面に近いほど $|a_{\max}|$ は増幅する傾向を示した。また、 $|a_{\max}|$ の増幅率は粘性流体の方が大きかった。図-6(中)に各深度の最大過剰間隙水圧比 $\Delta u_{\max}/\sigma'_{v0}$ ($\Delta u_{\max}$:最大過剰間隙水圧)を示す。間隙流体の種類にかかわらず、全深度で最大過剰間隙水圧は有効土被り圧を下回った。既往研究⁶⁾に倣い、2 深度の加速度計間の中間位置におけるせん断ひずみ γ を加速度応答の2 回積分値から算出した。図-6(右)に各深度の最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ を示すが、 $\gamma_{\max}$ は深度方向に伴って小さくなる傾向を示した。

3.2 既往研究との比較

遠心模型実験から得られた体積ひずみ ε_v を、図-2のFuji river sandを用いて行われた既往研究成果³⁾と比較した(図-7)。最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ を図-6に示した3 深度の平均値とすると、本実験の ε_v は既往結果と同等以上となった。今後、同様の比較データの集積や、三軸試験結果との比較を通じて、地震動を受けた礫地盤の体積圧縮挙動の検証を進める予定である。

4. おわりに

比較的密度の小さな礫地盤を対象とした遠心模型実験を行い、地震時の加速度、過剰間隙水圧、および地表面の鉛直変位の挙動について検討した。本実験結果は、間隙流体の種類にかかわらず、全深度において過剰間隙水圧比は1 未満であったが、加速度応答値から計算で求めた最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ は地表面付近では7.5%を超過し、初期液状化条件を超えていた。また、模型地盤の平均的な体積ひずみ ε_v と最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ については、既往研究と同等以上の値となった。今後は、密詰めめの礫地盤を対象とした同様の遠心模型実験を行い、砂地盤の地震時挙動と比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 田中幸久ら:事例調査に基づく砂礫地盤の液状化発生条件の検討, 土木学会論文集, No.666, III-53, pp.55-72, 2000.
- 2) 笹岡里衣ら:砂地盤と対比した礫地盤の地震時挙動に関する遠心模型実験, 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, CS 14-19, 2019.
- 3) Nagase, H. and Ishihara, K.: Liquefaction-induced Compaction and Settlement of Sand during Earthquakes, Soils and Foundations, Vol.28, No.1, pp.65-76, 1998.
- 4) (財)沿岸開発技術研究センター:埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 1997.
- 5) (社)日本道路協会:道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説, 2012.
- 6) 風間基樹ら:遠心振動実験から求めた砂地盤の応力-ひずみ関係, 土木学会論文集, No.535, III-34, pp.73-82, 1996.

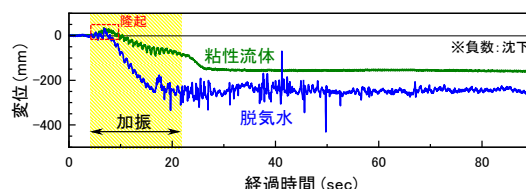


図-5 地表面変位応答値

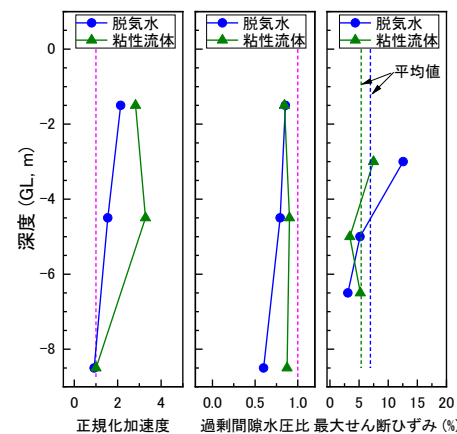
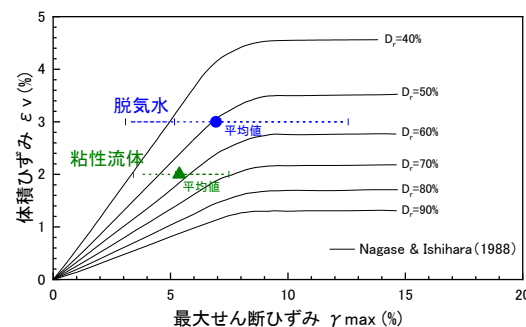


図-6 深度分布

図-7 既往研究³⁾との比較