

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

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

1. はじめに

高い耐震性能が要求される原子力発電施設では、設計基準地震動が大きく、従来、液状化を想定してこなかった巨礫を含む地盤の液状化を考慮して施設の耐震性評価が行われるようになった。一方、既往の研究では、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⁾。そこで、礫地盤の地震時の挙動を確認するために遠心模型実験を行った。また、砂地盤に関する既往の遠心模型実験結果と比較し、特に加速度と過剰間隙水圧の応答について検討した。

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-1m, GL-4m, GL-7m)に加速度計と間隙水圧計を埋設した。模型礫地盤は最大粒径 9.5mm の珪砂を用いて作製し、脱気水で飽和した。このため、遠心加速度場(50G)の透水係数 k は 1G 場の 50 倍($k=5.0 \times 10^1 \text{ cm/s}$)となるが、実際の造成礫地盤としてこの程度の高透水性を想定していることになる。粒径加積曲線を図-2に示す²⁾。なお、図-2中に、既往の液状化の可能性がある範囲を併せて示した。礫地盤は良配合であるため、同じ相対密度 $Dr=60\%$ ではあるが、貧配合の砂地盤よりも絶対密度や間隙比に大きな違いがある。また、試料を写真-1に示すが、礫は砂と比較し、明らかに角ばっている。

実験には、せん断土槽(L:650mm, H:160mm, W:200mm)を使用した。試料を空中落下法にて土槽内に投入後、 $Dr=60\%$ になるように締め固めて模型地盤を作製した。締め固め後、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 時間かけて地表面まで浸透させた。浸透完了後、土槽を遠心力载荷装置に搭載し、50G の遠心加速度場において加振実験を実施した。入力波の諸元を図-3に示す。以降の文、図中の値は実規模の値を記す。

3. 実験結果

(1) 砂地盤に関する既往の遠心模型実験^{3, 4)}

砂地盤の模型(表-1)は、豊浦砂を $Dr=60\%$ になるように締め固めて、粘性流体で飽和させた。このため、1G 場と遠心加速度場とで k は変わらない。遠心加速度場における k を比較すると、砂地盤に比べ礫地盤は約 10^3 倍の透水

表-1 模型地盤の諸元

模型地盤		礫	砂 ^{3,4)}
粒特性	最大粒径 D_{max} [mm]	9.5	0.425
	礫分含有率 G_c [%]	60	0
	細粒分含有率 F_c [%]	7.7	0.4
	均等係数 U_c [-]	32	1.8
	相対密度 Dr [%]	60	60
密度	乾燥密度 ρ_d [%]	1.980	1.481
	間隙比 e [-]	0.32	0.78
	間隙流体	脱気水	50cPシリコンオイル
透水係数	1G場 k [cm/s]	9.9×10^{-2}	3.8×10^{-3}
	50G場 k [cm/s]	5.0×10^1	3.8×10^{-3}

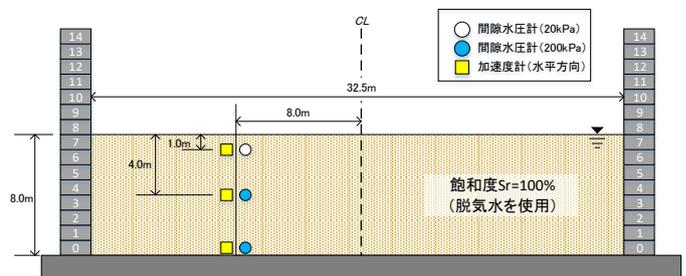


図-1 礫地盤の模型断面図(実規模換算値)

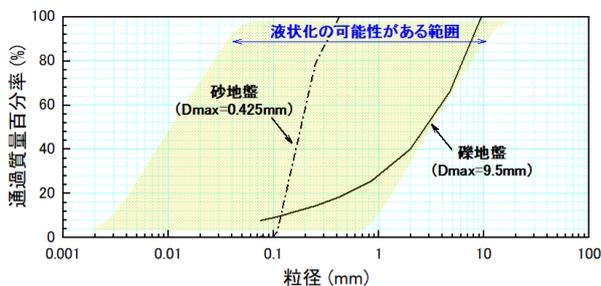


図-2 粒径加積曲線

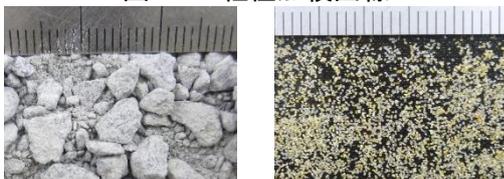


写真-1 試料(左:礫地盤, 右:砂地盤)

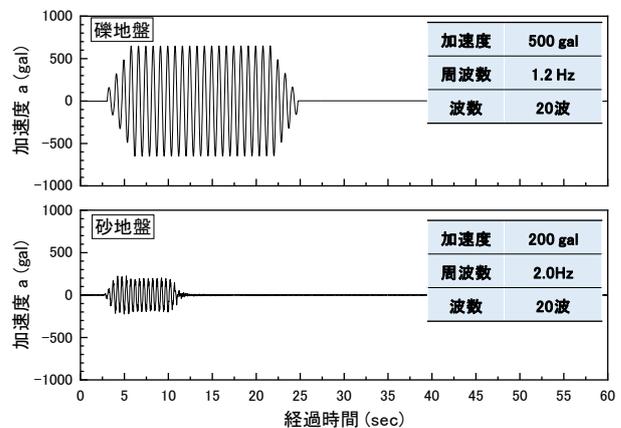


図-3 入力波

(上段:礫地盤, 下段:砂地盤, 実規模換算値)

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

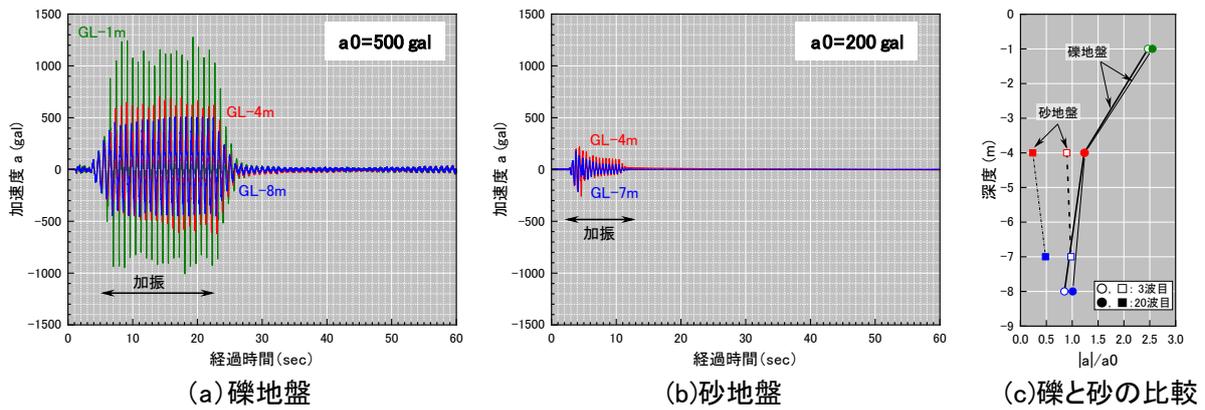


図-4 加速度応答

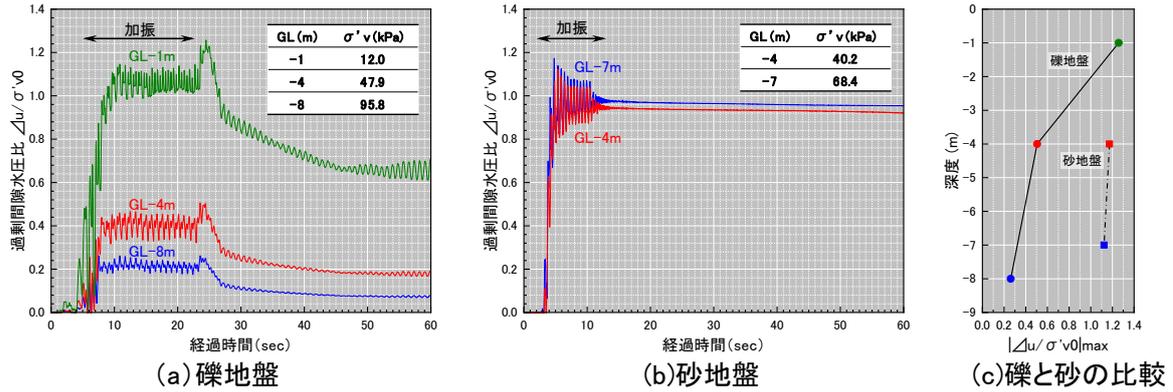


図-5 過剰間隙水圧比応答

性を有す。砂地盤のモデルには、2 深度 (GL-4, GL-7m) に加速度計と間隙水圧計を埋設した。

(2) 加速度 a

図-4(a)および(b)に加速度応答の時刻歴を示す。また、図-4(c)に正規化加速度 $|a|/a_0$ ($|a|$: 加速度応答値, a_0 : 入力加速度)の深度分布を示す。礫地盤については底面 (GL-8m) では a_0 と同等であったが、地表面付近 (GL-1m) では最大で約 2.5 倍に増幅した。また、全深度で加振中の加速度応答の低下はみられず、地震動を受けても地盤の剛性低下は認められない。一方、砂地盤では、両深度とも加振開始直後に 200gal に達したが、その後、時間経過に伴い加速度は低下した。砂地盤における加速度応答の低下は液状化に伴う地盤の剛性低下と関連すると考えられるが、礫地盤においてはそのような挙動が生じていないことがわかる。

(3) 過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma'v$

図-5(a)および(b)に過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma'v$ (Δu : 過剰間隙水圧, $\sigma'v$: 有効土被り圧)の時刻歴を示す。また、図-5(c)に最大過剰間隙水圧比 $|\Delta u / \sigma'v|_{max}$ の深度分布を示す。礫地盤では、地表面近く (GL-1m) のみ $\Delta u / \sigma'v$ が 1 を超過した。GL-4m, ならびに GL-8m では、 $\Delta u / \sigma'v$ は加振中に上昇したが、最大値は 1 を上回らなかった。これらは、絶対密度の大きな礫地盤では砂地盤より繰返し载荷時の体積収縮が小さいことが一因と考えられる。また、前述のように k が非常に大きいことも大きな理由であり、それを反映して 3 深度で $\Delta u / \sigma'v$ は加振終了とともに速やかに低下した。一方、砂地盤では、2 深度ともに、 $\Delta u / \sigma'v$ は加振開始直後に 1 を超過し、加振終了後も 1 に近い値を保持し続けた。このように、地震力を受ける緩い礫地盤の水圧挙動は、いわゆる砂の液状化とは全く異なる挙動が確認された。

4. まとめ

高い地下水位の緩い礫地盤の地震時挙動を確認することを目的として遠心模型実験を実施し、その結果を既往の緩い砂地盤を対象とした遠心模型実験結果と比較した。その結果、緩い礫地盤の地震時挙動は液状化を生じた砂地盤と異なることがわかった。なお、今回の実験には通常の脱気水を用いたが、間隙流体の粘性が水圧挙動や地盤変位などに及ぼす影響については、別途確認の予定である。

参考文献

- 1) 田中ら: 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) (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.
- 3) 川野ら: 遠心力载荷試験装置による杭状改良地盤の液状化実験 - その 1 実験概要・水圧挙動 -, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.1173-1174, 2011.
- 4) 小原ら: 遠心力载荷試験装置による杭状改良地盤の液状化実験 - その 2 地表面変化 -, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.1175-1176, 2011.