

液状化した緩傾斜砂地盤に発生するひずみ分布の評価

日本大学 非正会員 ○星野 賢士郎
 日本大学 非正会員 赤荻 玖有里
 日本大学 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

地震によって液状化した地盤は、わずかな地表面の傾斜であっても大きく流動変形する事例が報告されている。実際に流動した地盤内にはせん断ひずみや体積ひずみが発生しているが、その分布に関する情報は得られておらず、メカニズムの解明には至っていない。先行研究¹⁾では、液状化層の上部に透水性の低いシートを設置した模型振動実験において標点(ターゲット)や乾麺を用いてひずみの評価を試みている。しかし、それらの分布は離散的であり、ひずみの大まかな発生傾向の把握にとどまり、詳細な分析には至っていない。そこで本研究では、画像解析を用いて液状化した緩傾斜砂地盤に発生するひずみ分布を詳細に検討し、その評価を行った。

2. 実験概要

模型地盤は、剛土槽(幅 600mm×高さ 495mm×奥行 200mm)内に作製した。地盤材料は東北珪砂 6号($\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=0.88$, $e_{\min}=0.58$, $F_c=3\%$, $D_{50}=0.35\text{mm}$, $U_c=2.31$)を使用した。地盤の動きを詳細に追跡するため、地盤の撮影面には着色した東北珪砂 4号($D_{50}=0.63$)を重量比 5%混入した。試料の含水比は2%とし、湿潤締固め法で相対密度-20%傾斜角 14°の地盤を作製した。その後 CO₂ を 12 時間以上注入し、脱気水を流して地盤を飽和させた。なお、水面は斜面上流天端位置に設定した。実験ケースを表-1 に示す。ケース 1 は難透水層なし、ケース 2,3 は難透水層ありの条件とした。地盤モデルを図-1 に示す、なお、ケース 2,3 では地盤天端から 5cm の位置に難透水層を設けた。加えて、ケース 1,2 でスロッシングが発生したことを受け、ケース 3 では対策として水面に板を設置した。難透水層には、通水を可能にするためビニールシート(厚さ 0.015mm)に直径 2mm の穴を 42 個設け、摩擦を確保するためスプレーのりを用いて表面に砂を塗布した。また、地盤内の間隙水圧は図-1 に示す位置で計測した。間隙水圧計(センシズ製: HWT-8V0-0 20KP-05-100),は容量 20kPa のものを用い、入力波は周波数 2Hz の正弦波 2 波最大加速度 100gal とした。ただし、水浸沈下の影響で飽和後の相対密度はケース 1 で約 20%, ケース 2,3 で約 40%となり、ケース 2,3 では 100gal 加振で地盤流動しなかったため再度 200gal 加振した。加振中は、高速度カメラを用いて 1 秒間に 50 枚の画像を撮影し、それらを、画像解析ソフト(DippStrain-2D:ディテクト製)を用いてせん断ひずみと体積ひずみの分布を求めた。

表-1 実験ケース

実験ケース	目標相対密度	注水後相対密度	波数	難透水層	スロッシング対策
1	-20%	18.8%	2	—	なし
2		42.6%		○	
3		38.8%		○	あり

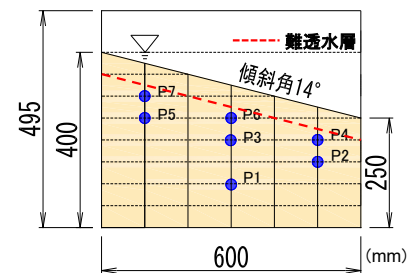


図-1 地盤モデル

3. 実験結果と考察

図-2 に地盤中央位置(P1,P3,P6)の過剰間隙水圧の等時曲線を示す。図より、全ケース深度 0.125m 以浅で液状化している。ケース 1,2 は 2 秒後以降にスロッシングの影響とみられる水圧の上昇が確認され、ケース 3 では 2 秒後以降過剰間隙水圧が消散している。そこで、液状化した位置を含む斜面のせん断ひずみ分布に着目

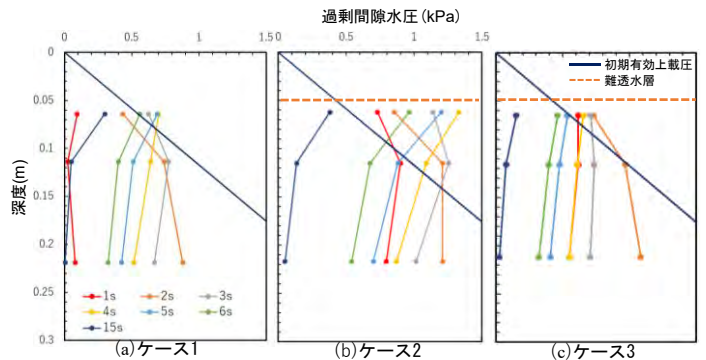


図-2 等時曲線

キーワード 液状化, 流動変形, ひずみ, 模型実験, 画像解析

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 TEL 024-956-8858

し、考察を行った。加振 2 秒後のせん断ひずみ分布を 図-3 に示す。図より、円弧状に大きなせん断ひずみが発生している領域がみられる。その位置と液状化発生位置は概ね対応している。さらにケース 3 では主に難透水層の上で大きなせん断ひずみが発生している。ケース 2,3 では難透水層下でも一部せん断ひずみが発生している。この位置は写真-1 に示すように噴砂の発生位置と一致する。なお、噴砂は、難透水層のあるケース 2,3 でのみ発生した。次に、同時間の体積ひずみ分布を 図-4 に示す。図では正の体積ひずみを膨張、負を収縮で表示している。ケース 1,2 では、斜面中央部の表層に近い領域で膨張挙動を示している。これは、スロッシングにより水面が上下すると同時に地盤面も上下し、膨張側に体積ひずみが蓄積した結果である。

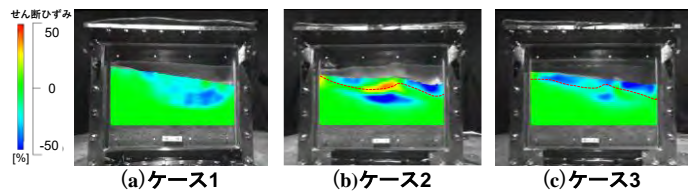


図-3 せん断ひずみ(加振開始 2 秒後)

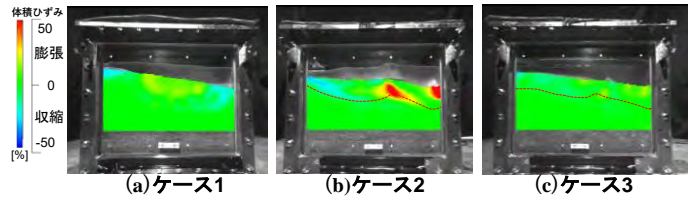


図-4 体積ひずみ(加振開始 2 秒後)



写真-1 噴砂の発生状況(ケース 3)

一方ケース 3 では、液状化した領域で収縮挙動が見られた。ケース 3 における難透水層直下(P7,P6,P4)のせん断ひずみと体積ひずみの時刻歴を 図-5 に示す。加振終了後約 1 秒間は斜面の上部(P7),中央部(P6)においてせん断ひずみが増加しており、地盤が動いている。一方体積ひずみは、加振中に上部,中央部で収縮と膨張を繰り返し、その振幅は最大 7%となっている。P4 では若干の膨張挙動を示しているが、側壁の影響で変形が拘束されており体積ひずみは小さくなった。また、図中には噴砂発生時間(加振開始から 2.4 秒後)を示した。図より、噴砂は地盤の動きがほぼ収束した時に発生していることがわかった。難透水層直下 (P6)の過剰間隙水圧比の時刻歴を 図-6 に示す。難透水層の存在によって高い被圧状態が保たれたことに加え、斜面下部が側壁で拘束され、写真-1 に示す位置で噴砂が発生したと考えられる。

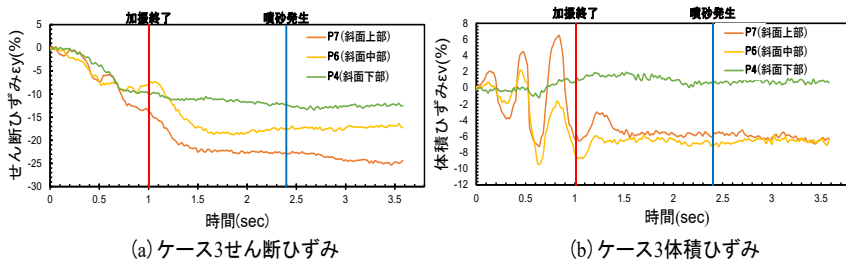


図-5 難透水層下のせん断ひずみと体積ひずみの時刻歴

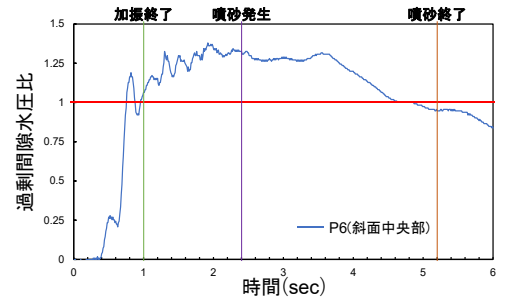


図-6 難透水層直下の過剰間隙水圧比の時刻歴(斜面中央部)

4. まとめ

本研究では、模型実験及び画像解析によりせん断ひずみと体積ひずみ分布を評価して以下のことがわかった。

- 1)液状化が発生する領域では、円弧状にせん断ひずみが発生した。
- 2)スロッシングにより水面が上下すると同時に地盤面も上下し、その結果体積ひずみは膨張挙動を示した。
- 3)難透水層のあるケースでは、難透水層の存在によって斜面の中央付近で水圧が高い被圧状態が保たれ、その位置で噴砂が発生したと考えられる。

5. 参考文献

- 1)土屋貴一・長山祐樹・仙頭紀明(2022):液状化後に発生する時間遅れを伴った流動変形の再現実験,第 57 回地盤工学研究発表会 20-11-3-08.