

# 模型振動台実験での CCD カメラを用いた液状化砂層中のひずみ計測の試み

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生剛治  
学生会員 ○永井宏幸 遠藤大智

## 1. はじめに

振動台を用いた砂層の液状化の模型実験は数多く行われている。我々の研究グループでも液状化による砂層の水膜流動について透明アクリル水槽を用いた多くの実験結果を得てきた<sup>1)</sup>。その際、困難であるために残された重要課題は、液状化にともなう模型砂層中のひずみの計測である。これまでに、シルトシームを挟み水膜が生成する条件で、CCD カメラによる画像の分析から体積ひずみとせん断ひずみを算定し、水膜生成とひずみとの関係を考察した<sup>2)3)</sup>が、その計測法の精度や信頼性についてはさらに検討が必要である。ここでは原点に立ち戻り、もっとも基本的な均一砂層について透明アクリル水槽内での振動台実験を行い、CCD 画像より砂層のひずみを定量化し、マーカーの変位や間隙水圧などの計測と比較してその精度や信頼度を検討する。

## 2. 実験概要

寸法 800×150×600mm の透明アクリル製土槽に千葉県富津の細砂を水中落下法によりゆる詰め堆積させ、均一砂層の水平地盤と傾斜角 5° の地盤を作製した。砂地盤は完全に水面下にあり、その平均密度は  $\rho_{\text{sat}}=1.84 \text{ (t/m}^3\text{)}$  である。この模型地盤を図-1 に示すように振動台に載せ、土槽長辺方向に振幅 1.2cm、周波数 8Hz、波数 1 波の振動を加えて液状化させた。図-2 はアクリル土槽内の水平地盤と傾斜した地盤の側面図である。振動台に取り付けた加速度計で入力加速度を計測するとともに、図-2 に示す位置の水圧計で間隙水圧を測定した。さらに、土槽内部に貼り付けた食用麺からなる 100×100mm のマーカーの動きをビデオカメラで観察することにより、地盤全体の変形の様子を観察した。また、砂層の局所的なひずみを計測するために、図-2 に示す位置に CCD カメラを設置し、約 12mm×12mm の砂層側面の画像解析によって土粒子の挙動を追尾することによりせん断ひずみと体積ひずみの定量化を試みた。

## 3. 実験結果

振動開始時間を  $t=0$  として、それ以降の間隙水圧の変化を水平・傾斜地盤について図-3 に示している。振動開始後直ちに水圧は最大値まで上昇し、その値は水圧計位置での  $\rho_{\text{sat}}$  から計算した過剰間隙水圧の理論値にほぼ対応している。この図から砂層は水圧計②よりも深い位置まで液状化し、その後、下部から上部に液状化が終息していくことが分かる。

図-4 は図-2 に記入した位置でのマーカーの動きより測定した水平地盤の沈下量の時刻歴である。沈下は液状化開始と同時に急速に進行するが、水平方向の動きは全く見られず、ほぼ 1 次元的な沈下現象と判断さ

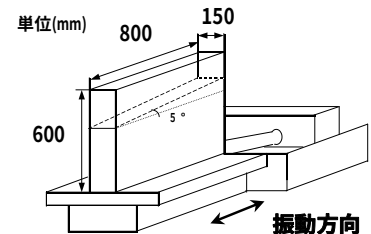


図-1 実験装置の概略図

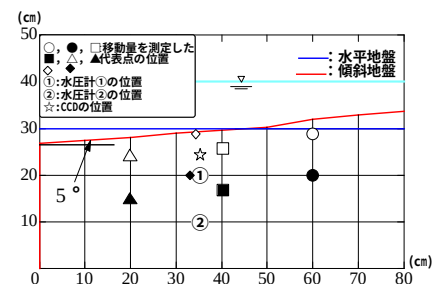


図-2 CCD カメラ、マーカー、水圧計の設置位置

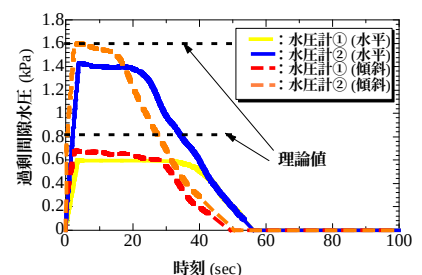


図-3 過剰間隙水圧の時系列

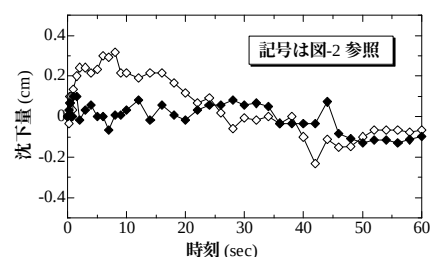


図-4 沈下量の時刻歴

キーワード 液状化 海底地盤 振動台実験 体積ひずみ せん断ひずみ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL03-3817-1799

れる。一方、図-5は図-2に記入したマーカーの動きより算定した傾斜地盤の流動量である。流動方向の長さをとっており、水平・鉛直の2成分を含んでいる。振動中には砂層の上流側表面近くのみで流動が起きるが、振動終了後の $t=2.5$ 秒くらいからは上流側のさらに深い位置のマーカー2点を巻き込んで広い範囲の流動が起きており、滑りのモードは複雑なことが分かる。

#### 4. CCD 画像から分析したひずみ

地表から5cm深さの図-2に示す位置において、CCDカメラで撮影した画像を、文献<sup>2)</sup>で説明した方法により画像追尾ソフトを使って体積ひずみとせん断ひずみを解析した。なお、せん断ひずみについては文献と異なり、ほぼ鉛直に並んだ2つの砂粒子間の水平変位差を鉛直距離で割った値を平均して3ヶ所で求め、それらを水平せん断ひずみとして算出した。

図-6は水平地盤での実験から得られた体積ひずみ $v$ の時間変化である。振動中に7%ほどマイナス(膨張)側に振れ、その後 $t=20$ 秒でステップ状に変化している以外は $t=40$ 秒付近まで大きな変化はなく、 $t=40\sim 47$ 秒程度で急速に収縮している。このひずみを図-3の水平地盤の水圧変化と対比すると、水圧の上昇と下降時に膨張と収縮の大きなひずみ変化が起きていることが分かる。図-4のマーカーの動きの引き算から水平方向のひずみがゼロとして算出した体積ひずみを図-6に重ね書きしている。両者の絶対値にひらきはあるものの、変化傾向には対応が見られる。

図-7(a)(b)は傾斜地盤でのCCD画像による体積ひずみ $v$ と水平面のせん断ひずみ $\gamma$ の時間変化である。(a)の $v$ については、振動中に10%ほど収縮したあと、 $t=1.5$ 秒付近から急速に-40%まで膨張し、 $t=3.5$ 秒付近から再び収縮傾向に転じて $t=20$ 秒まで続く。この間、(b)のせん断ひずみは、振動直後から正負に激しく変化しながら、その中心軸は徐々に正方向(斜面下流へ倒れる方向)に増加し、 $t=3\sim 4$ 秒で $\gamma$ は最大に達している。この時に(a)の $v$ が最大の膨張を示しているが、これはダイレイタンス現象を反映しているものと考えられる。同図に重ね書きしたカーブは図-5に示すマーカーの動きのうち、CCDカメラに近い2点(□と■)より算出した傾斜角(せん断ひずみ)であるが、大きな変化傾向には明らかに共通点が見られる。

#### 5. まとめ

土槽内の飽和砂層の液状化試験を水平地盤と緩傾斜地盤についておこない、CCDカメラ画像によるミクロな砂粒子のひずみをマーカーによるマクロな砂層の変形や水圧変化と比較したところ、体積ひずみ、せん断ひずみともにある程度の対応関係が認められた。しかし、CCD画像から算出したひずみは砂粒子のミクロな動きを強く反映しており、どの程度代表的ひずみとして考えられるかについては今後さらに詳細な検討が必要である。

##### <参考文献>

- 1) 樺沢・國生：液状化地盤の水膜現象による流動の模型実験とエネルギー的検討，土木学会論文集 No.771, III - 68, 135 -145, 2004.
- 3) 國生・樺沢・清水・吉川：水膜現象による流動時の低透水層より株における砂の体積変化，第39回地盤工学研究発表会，1913-1914, 2004
- 2) 國生・高橋・樺沢・清水・熊谷：液状化地盤での水膜流動現象におよぼす砂のダイレイタンス特性の影響，第40回地盤工学研究発表会，2229-2230, 2005.

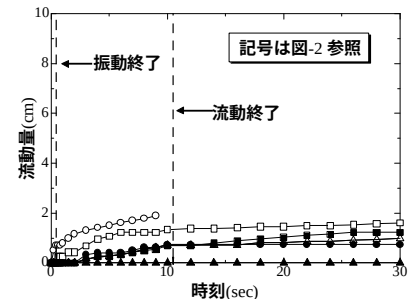


図-5 流動量の時刻歴

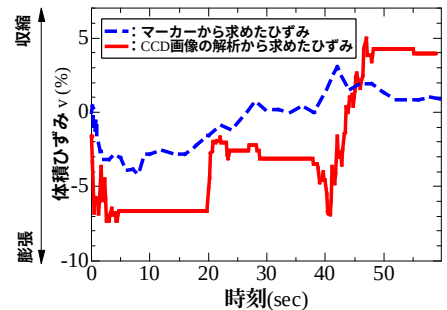


図-6 水平地盤の体積ひずみの時刻歴

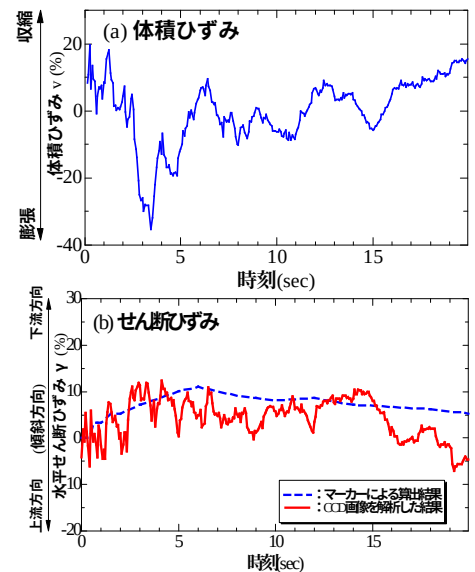


図-7 傾斜地盤での体積ひずみ(a)と水平せん断ひずみ(b)の時刻歴