

せん断変形が液状化継続時間に与える影響

広島大学大学院 学生会員 ○西田 将人
 広島大学大学院 フェロー会員 佐々木 康
 広島大学大学院 正会員 加納 誠二
 広島大学大学院 学生会員 吉延 広枝

1. 背景と目的

液状化後の地盤の変形量や液状化地盤上の構造物の変形量を精度よく推定するために、液状化後の土の力学特性の解明が求められている。液状化後の土の力学特性の解明のために要素試験や振動台実験が行われている。しかし、土要素の変形のみならず、その変位も液状化後の力学挙動に影響すると考えられることから瞬間液状化実験を実施した。

2. 実験装置及び実験方法

図-1 に示すような小型土槽を用いて、背後地盤長さ B を変えて瞬間液状化実験を行った。実験ケースを表-1 に示す。アクリル製の擁壁を所定の位置に設置し、豊浦標準砂を水中落下法で層厚 $H=14$ cm になるように緩く堆積する。その後ハンマーによる加振で地盤を液状化させ、擁壁移動量、過剰間隙水圧、粒子挙動を計測した。本実験では地盤変形を伴う場合の液状化後の挙動を検討するために1回加振で実験を行った。間隙水圧計は地表から 3 cm、6 cm、9 cm、擁壁から 0 cm、4 cm、8 cm、12 cm、16 cm の 15 個と擁壁から離れた位置に 1 個で計 16 個設置した。粒子撮影位置は擁壁から 4 cm、地表から 3 cm の位置とした。

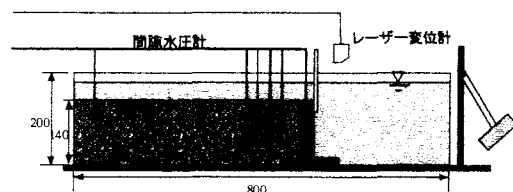


図-1 実験概要図

表-1 実験ケース

擁壁	背後地盤幅B	実験タイトル	Dr(%)	擁壁移動量(mm)	
片側	20	片20	28.38	13.47	
	30	片30	31.21	9.54	
	40	片40	30.85	11.10	
	50	片50	35.81	11.92	
	60	片60	31.74	7.80	
両側	20	両20	30.08	8.11	1.66
	30	両30	27.88	9.11	11.58
	40	両40	28.41	14.91	13.5

3. 実験結果及び考察

図-2 に背後地盤 40 cm、 $Dr=30\%$ の実験結果を示す。擁壁から遠い位置では過剰間隙水圧 Δu は有効拘束圧まで上昇しているが、擁壁近辺では Δu は有効拘束圧まで上昇していない。また擁壁から離れていて間隙水圧比 $r_u=1.0$ に達している位置でも擁壁に近いほど高間隙水圧継続時間 T_d は短くなっている。しかし、過剰間隙水圧消散勾配は擁壁に近いほど小さくなっている。図-3 に擁壁からの距離と過剰間隙水圧消散勾配の関係を示す。擁壁の変位に伴う背後地盤の変位中に粒子間距離が小さくなり水圧消散が遅くなったと思われる。この図から深さ 9 cm では擁壁から 20 cm 以上離れると擁壁の移動の影響が無いといえる。浅い位置では深い位置よりも遠くまで擁壁の影響がある。また擁壁から 0 cm と 4 cm の位置での加振直後の波形を比較すると、4 cm の方が Δu の減少量が多いことがわかる。地盤変形に伴う密度変化が大きくなるためと考えられる。擁壁極近辺では擁壁が非排水面となるため土粒子間の間隙水が上部にしか排水できないため有効応力の回復量が小さかったと思われる。擁壁が停止すると同時にそれまでの Δu の乱れが治まり、圧密現象が始まっている。

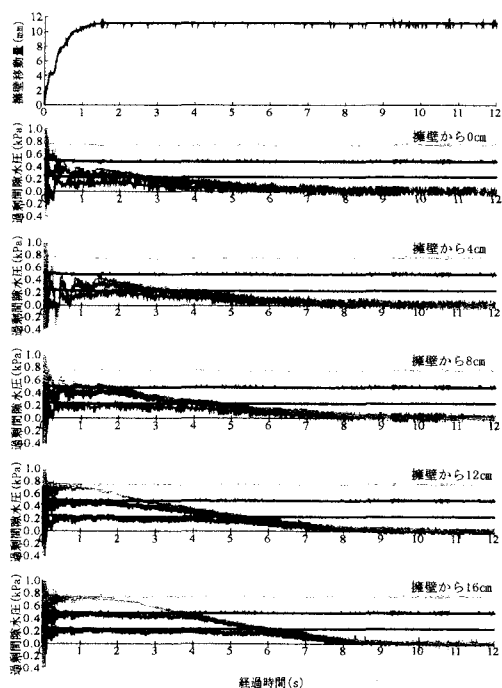


図-2 時刻歴波形

図-4 に高速 CCD カメラで撮影した粒子挙動を示す。粒子は 10

個以上追跡したが、撮影範囲内で最も構成する三角形が大きく正三角形に近い粒子を選んだ。擁壁に近い粒子は水平移動量は大きいが粒子沈降量が小さいことがわかる。3つの粒子の水平座標と鉛直座標を $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3$ 、水平移動量と鉛直移動量をそれぞれ $u_1, u_2, u_3, v_1, v_2, v_3$ とすると体積ひずみ ε_v とせん断ひずみ γ は

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 & v_1 & u_2 & v_2 & u_3 & v_3 \end{Bmatrix}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y$$

ここで Δ ：三角形の面積 $b_1=y_2-y_3$ $c_1=x_3-x_2$

となる。この式から求めた ε_v と γ を擁壁移動量と Δu とともに図-5に示す。 γ が大きく変化する時に Δu が大きく減少していることが分かる。擁壁移動量が最終値に達する擁壁移動速度が小さいときに再び Δu は増加し、擁壁が停止すると再び Δu は減少し始める。 ε_v に着目すると正の値を示していることからこの要素は体積が収縮していることが分かる。体積が収縮すると透水性が小さくなり、先ほどの消散勾配が小さくなった証拠となる。本実験では過剰間隙水圧計測結果に加振時にアクリル土槽壁面が微小変形したと考えられる振動成分が含まれており、正しく地盤の Δu を計測できなかったため、擁壁停止時について考察した。図-6には有効回復応力比 $(1-r_u)$ と γ の関係をこれまで実験した結果とともに示す。せん断ひずみが大きいほど有効応力の回復量が大きいことが分かる。図の安田と白武はともに中空ねじりせん断試験の実験である。境界が強制変形させられる地盤では境界が変化しない要素試験に比べて同一せん断ひずみに対して有効応力の回復量が大きいことが分かる。これは同じせん断ひずみに対して土要素の「変位量」が大きいためである。したがって要素試験の結果から地盤の変形量を求めるにはこのことを考慮した補正が必要となる。

4. 結論

- 1). 擁壁が変位した時には、高間隙水圧継続時間は短くなる。
- 2). 擁壁が液状化により変位した時、擁壁から少し離れた位置で最も過剰間隙水圧の低下量が大きくなる。
- 3). せん断ひずみが大きいほど過剰間隙水圧の低下量が大きく有効応力が早く回復する。
- 4). 境界が強制的に変形させられる模型実験のように土要素が変位する場合は、境界が強制変形しない要素試験に比べて有効応力の回復が早い。

【参考文献】

- (1) 安田進：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、1999。
- (2) 白武寿和：背後地盤の液状化による擁壁の変位機構に関する研究、広島大学大学院修士論文、1999。

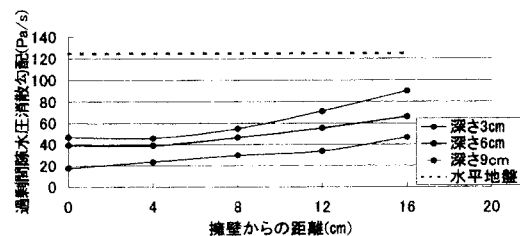


図-3 過剰間隙水圧消散勾配

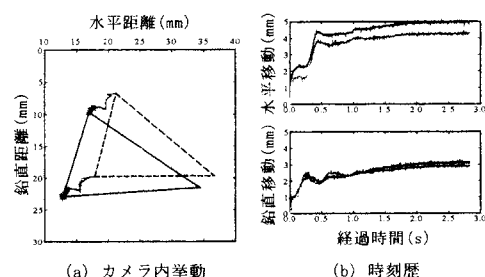


図-4 粒子挙動

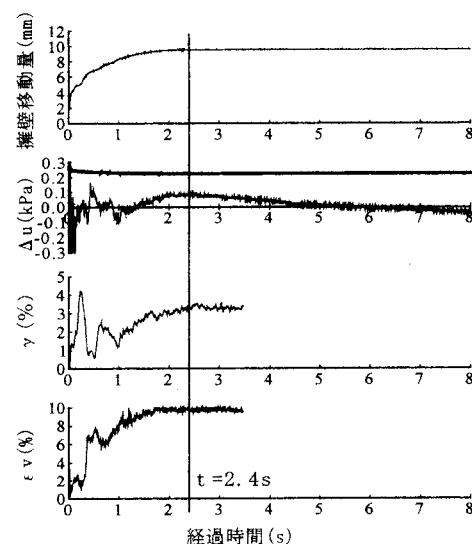


図-5 γ と ε_v の時刻歴

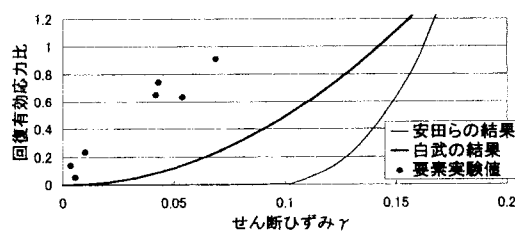


図-6 せん断ひずみと有効応力回復比関係