

日本大学工学部 学生会員 ○齋藤 正平
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

間隙水圧消散工法とは、礫や合成樹脂等の排水性の良い材料を地盤中に所定の間隔で鉛直に設置することにより地盤の透水性を高め、間隙水をドレーン内に流入させ、過剰間隙水圧の上昇を抑制する液状化対策工法の一つである¹⁾。このためドレーン材周辺の土要素では地震動中いくつかの排水を伴う部分排水状態にあると考えられる²⁾。東日本大震災でも間隙水圧消散工法によって改良した地盤では液状化被害が生じず、その効果を発揮した³⁾。しかし、液状化強度の増加や、今後発生する地震に対して一度地震を経験した改良地盤の強度の変化は明らかになっていない。さらに、間隙水圧消散に伴う沈下量についても明確にされていない。そこで本研究では、中空ねじりせん断試験装置を用いて、非排水ならびに部分排水繰返しせん断試験を行い、改良地盤の再液状化に対する抵抗性の評価と体積ひずみによる沈下量予測を目的とした。

2. 実験方法

本実験では、中空ねじりせん断試験装置を用いた。試験装置の概略図を図-1に示す。試料には硅砂5号を用いた。試料の粒径加積曲線と物理的性質を図-2に示す。供試体は外径7cm、内径3cm、高さ10cmの中空円筒状である。供試体の作製方法は空中落下法とし、目標相対密度 Dr は50%、70%とした。供試体は10kPaで自立させた後、飽和させるため、間隙の空気を二酸化炭素と置換し、脱気水を通水した後、背圧を100kPa载荷した。なお供試体の目標 B 値は0.95以上とした。その後、有効拘束圧100kPaで等方圧密し、圧密終了後、非排水ならびに部分排水条件で繰返しせん断試験を行った。部分排水条件の制御方法は低流量メータリングバルブを用いて行い、既往の研究⁴⁾を参考に排水効果係数 α^* を求め、実験のパラメータとした。実験ケースを表-1に示す。 $Dr=50\%$ では両振幅せん断ひずみ5%($DA=5\%$)までせん断し、改良地盤の再液状化に対する抵抗性を評価するため、繰返しせん断後に再圧密させた後、再びせん断試験を行った。 $Dr=70\%$ では体積ひずみ発生の上限值を求めるため、過剰間隙水圧がゼロに戻り、体積ひずみ増分がほとんど生じなくなるまでせん断をかけた。

3. 実験結果

部分排水条件の試験結果の一例を図-3に示す。図にはそれぞれせん断応力(τ)、せん断ひずみ(γ)、過剰間隙水圧比(r_u)および体積ひずみ(ϵ_v)の時刻歴と、応力ひずみ関係、有効応力経路を示す。

キーワード：間隙水圧消散工法 沈下量 体積ひずみ 再液状化

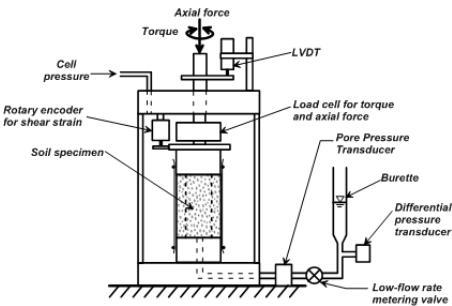


図-1 実験装置概略図

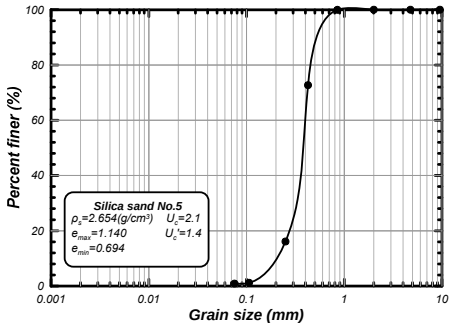


図-2 粒径加積曲線

表-1 実験ケース

ケース	α^*	R	f(Hz)	応力比	$Dr(\%)$
1-1	0	0	0.1	0.14	48.7
1-2				0.15	53.1
1-3				0.2	49.4
1-4				0.16	48.7
1-5				0.2	53.1
1-6	1.8×10^{-5}	57	0.2	0.23	49.4
2-1				0.3	50.2
2-2				0.32	50.9
2-3				0.34	50.5
2-4				0.28	51.6
2-5	3.7×10^{-5}	130	0.2	0.32	51.3
2-6				0.35	50.8
3-1				0.33	51.3
3-2				0.35	53.2
3-3				0.36	50.5
3-4	0	0	0.1	0.37	48.1
3-5				0.5	53.2
3-6				0.52	48.1
3-7				0.54	50.5
4-1				0.20	67.7
4-2	1.8×10^{-5}	57	0.2	0.25	67.3
4-3				0.30	71.7
4-4				0.35	69.5
5-1				0.4	70.3
5-2				0.45	70.1
5-3	3.7×10^{-5}	130	0.2	0.47	69.4
5-4				0.5	70.1
6-1				0.52	69.8
6-2				0.54	71.7
6-3				0.56	70.5
6-4	0	0	0.1	0.6	70.4
6-5				0.65	73.4
6-6				0.7	73.2
6-7				0.75	66.8

体積ひずみが増加するにつれてせん断ひずみおよび過剰間隙水圧比が増加傾向にあるがその後減少していくことがわかる。これは、部分排水状態であるため間隙水圧の上昇が抑制されるためである。また、せん断ひずみ振幅も減少しており、排水による密度変化によって土が硬化したと考えられる。図-4 に液状化強度曲線を示す。まず、非排水条件と各 α^* を比較すると、 α^* が増加するにつれて液状化強度が増加していることがわかる。次に非排水条件と各 α^* の初回の载荷と再载荷の強度を比較すると、非排水条件では同じ応力比でも $DA=5\%$ に至るまでのサイクル数 N が再载荷の方が少なくなり、液状化が発生しやすくなる。そして、 $\alpha^*=1.8 \times 10^{-5}$ では初回の载荷と再载荷での強度がほぼ等しくなり、 $\alpha^*=3.7 \times 10^{-5}$ では $N=20$ の時の応力比を比較すると、再载荷の応力比が初回の载荷の応力比の 1.5 倍程度に増加した。図-5 に体積ひずみと最大過剰間隙水圧比 $r_{u\max}$ の関係を示す。 $r_{u\max}$ が 0.2 程度では体積ひずみが抑制され、0.5 を超えたあたりから体積ひずみが大きくなる。しかし $r_{u\max}$ が 1 付近では体積ひずみの変動が大きく相関がみられない。また、繰返しせん断前の圧密試験により求めた体積圧縮係数 m_v から求めた体積ひずみは今回実験値より小さな値を示しており、実験値は繰返しせん断に伴う排水によって体積ひずみが増大したことが考えられる。さらに $Dr=70\%$ のケースでは、応力比が 0.5 以上と高く、载荷回数が多いことも関係している。図-6 に体積ひずみと累加せん断ひずみの関係を示す。累加せん断ひずみとは各時間間隔のせん断ひずみの増分の絶対値を積分したものである。 $DA=5\%$ まで载荷したケースでは 1~3% 程度の体積ひずみが生じ、過剰間隙水圧が消散するまで载荷を続けたケースでは 5~7% 体積ひずみが生じた。また体積ひずみと累加せん断ひずみは相対密度に関係なく相関がみられ、累加せん断ひずみが増加するにつれて体積ひずみが増加した。よって累加せん断ひずみを求めることで、沈下量を予測することができる。

4. まとめ

排水効果係数 α^* が増加するにつれて液状化強度も増加した。さらに再液状化に対しては、非排水条件では初回の载荷に比べて液状化強度が低下し、再液状化しやすくなるのに対して、改良地盤では初回と同等またはそれ以上の液状化強度となった。また、体積ひずみと累加せん断ひずみには相対密度に関係なく相関がみられた。今後の課題として既存の設計では改良地盤の最大過剰間隙水圧比を設定するため、最大過剰間隙水圧比から体積ひずみを求める方法を明らかにする必要がある。

参考文献 1) 社団法人地盤工学会(2004)：地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法, pp.363. 2) 山本・兵動・上原・高橋(2001)：飽和砂の部分排水繰返し三軸試験に基づくグラベルドレーン液状化抑止効果の評価, 土木学会論文集 No.687/-56, pp.77-94. 3) DEPP 工法研究会(2011)：DEPP 工法技術資料, pp.8-12. 4) 仙頭・松下・海野・林(2012)：部分排水繰返しせん断試験による液状化抵抗と体積ひずみの評価, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.1517-1518.

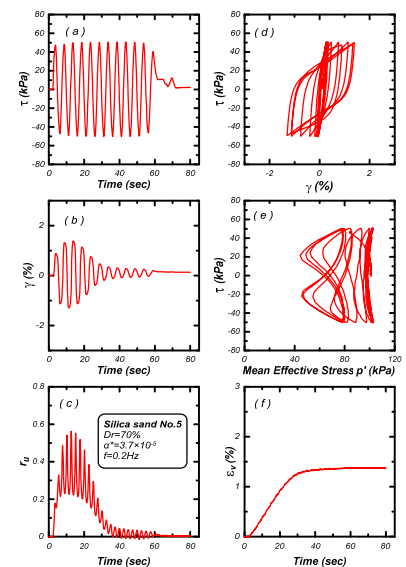


図-3 試験結果一例

(ケース 6-1)

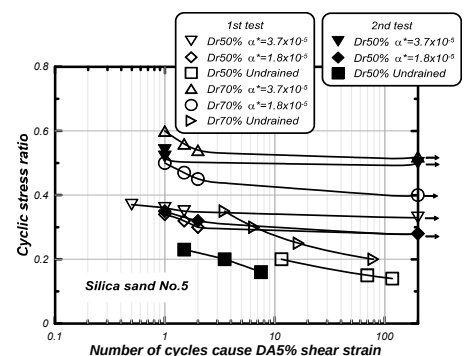


図-4 液状化強度曲線

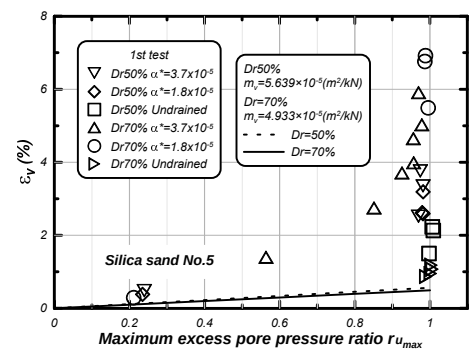


図-5 最大過剰間隙水圧比と体積ひずみの関係

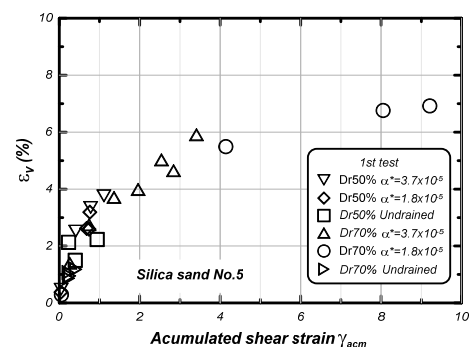


図-6 累加せん断ひずみと体積ひずみの関係