

1. はじめに

間隙水圧消散工法とは、ドレーン等の排水性の高い材料を地盤中に設置することにより地盤内の透水性を高め、間隙水をドレーン内に流入させ、地震時に発生する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⁾。東日本大震災では、沿岸部埋立地広域に液状化の被害が多数発生した。過剰間隙水圧消散工法は東日本大震災においてその効果を発揮した²⁾。これは改良地盤では、土は排水を伴いながら繰返しせん断を受けることで液状化被害を軽減できたと考えられる。すなわち、この改良効果は、繰返しせん断中の排水速度とせん断の速さの割合で変化するものと考えられる。そこで本研究では、中空ねじりせん断試験装置を用いて、地震時の改良地盤の状態を模擬し、ひずみ速度比を制御した部分排水繰返しせん断試験を行い、体積収縮を受ける砂の強度・変形特性の関係を調べ、非排水試験と部分排水試験の応力-ひずみ関係、有効応力経路及び液状化強度の比較を行った。また、非排水試験の液状化強度に対する体積収縮による液状化強度増加率、すなわち排水効果を表す液状化強度補正係数を提案し、定量評価を行った。

2. 実験方法

実験には、中空ねじりせん断試験装置を使用した。概略図を図-1に示す。また、ひずみ速度比を制御するため、モーターの回転運動をボールねじとナットによりピストンの直動運動に変換する体積ひずみ制御装置を用いた。試料には豊浦砂を用いた。試料の粒径加積曲線を図-2に示す。豊浦砂は、粒径の揃った細粒分を含まない砂である。供試体は、外径7cm、内径3cm、高さ10cmの円筒状で、空中落下法により作製した。相対密度は、40%と70%を目標に作製し、供試体を飽和させるため、間隙の空気を二酸化炭素に置き換え、脱気水を通水した後、背圧を100kPa 載荷した。なお、供試体のB値は95%以上とした。その後、有効拘束圧100kPaで等方圧密を行い、圧密終了後、繰返しせん断試験を行った。実験ケースを表-1に示す。ここで、ひずみ速度比 β は以下の式で表される。

$$\beta = \frac{d\varepsilon_v}{|d\gamma|}$$

$d\varepsilon_v$ は体積ひずみ速度、 $d\gamma$ はせん断ひずみ速度である。繰返しせん断試験は、せん断ひずみ速度1%/minとし、表-1のケースに基づいたひずみ速度比を設定した。なお、初期せん断応力を5kPaと設定した。試験は、間隙水圧が100kPa以下(過剰間隙水圧がゼロ)まで低下したら終了とした。

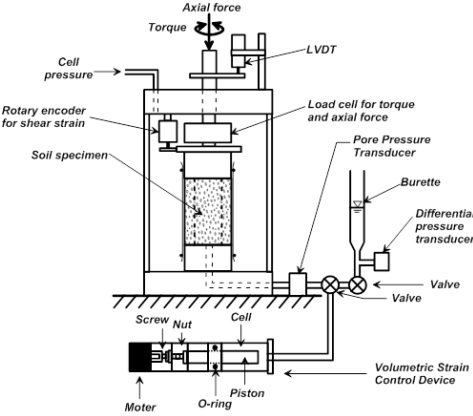


図-1 中空ねじりせん断試験装置概略図

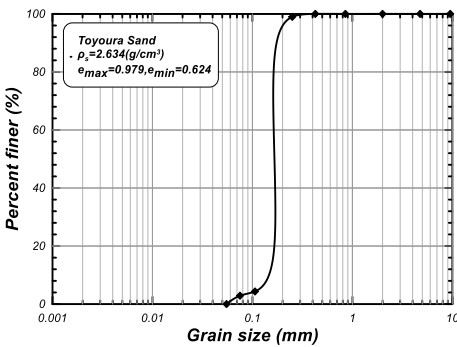


図-2 試料の粒径加積曲線

表-1 実験ケース

	排水条件	相対密度 Dr(%)	応力比 τ/σ_v'	$\beta=(d\varepsilon_v/d\gamma)$
1	非排水	40	0.10~0.20	0
2		70	0.15~0.40	
3		40	0.30~0.60	0.01
4	部分排水	70	0.40~0.60	
5		40	0.30~0.60	
6		70	0.60~1.8	0.04
7		40	0.50~0.70	
8		70	0.80~1.6	0.06
9		40	0.20~1.0	
10		70	0.80~1.4	

3. 実験結果

図-3 に実験結果の一例($Dr=40\%, \beta=0.04$)を示す。図は、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、応力-ひずみ関係および有効応力経路である。この結果は緩い砂であるが、密な砂のように、高い応力比の载荷でもで粘り強い挙動を示している。過剰間隙水圧比とせん断ひずみの関係をみると、はじめは過剰間隙水圧およびせん断ひずみは増加傾向にあるがその後は減少していく。これは、体積収縮により土が密実化して強度が増加するためである。有効応力経路では、ある一定まで有効応力が低下すると、その後、経路は右側に移動し有効応力が回復する。図-4 に体積ひずみとせん断ひずみの関係を示す。体積ひずみの正は体積収縮を表しており、体積ひずみ量が増加するにつれせん断ひずみ振幅は徐々に減少していくことがわかる。図-5 に相対密度40%の液状化強度曲線を示す。(a)は片振幅せん断ひずみ 3% ($SA=3\%$)の液状化強度曲線、(b)は $SA=5\%$ の液状化強度曲線である。まず、非排水試験結果と比較すると、ひずみ速度比 β の増加とともに液状化強度が増加することがわかる。载荷回数 15 回の応力比を比較すると、最大で約 8 倍強の強度が得られた。図-6 に $Dr=40\%$ および 70%の β と強度増加率(K_{PD})の関係を示す。ここで、強度増加率 K_{PD} は、部分排水時の液状化強度を非排水時の液状化強度で除したものである。ただし、液状化強度は、繰返し载荷回数 $N=15$ 回で定義した。図より、ひずみ増分比の増加とともに強度増加率 K_{PD} も増加していくことがわかる。また、 K_{PD} は $Dr=70\%$ の方がより大きい傾向にあり、密な地盤の方が液状化強度が高い傾向にあると考えられる。

4. まとめ

ひずみ速度比を制御した部分排水繰返しせん断試験を行い、非排水試験の実験結果と比較したところ以下のことが分かった。1)過剰間隙水圧およびせん断ひずみは最初、増加傾向にあるが、その後は体積ひずみの増加に伴う体積収縮により減少に転じる。これは土の密度増加による強度増加が原因である。2)液状化強度は、非排水に比べて部分排水は排水による密度変化によって土が硬化し、液状化強度が増加する。3)強度増加率 K_{PD} は、 β が増加すると強度増加率 K_{PD} は非排水の場合に比べて最大約 8 倍となった。また、 K_{PD} は $Dr=70\%$ の方がより大きい傾向にある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25420510 の助成を受けたものです。記して謝意を示します。

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)DEPP 工法研究会(2011):DEPP 工法技術資料,pp8-12.

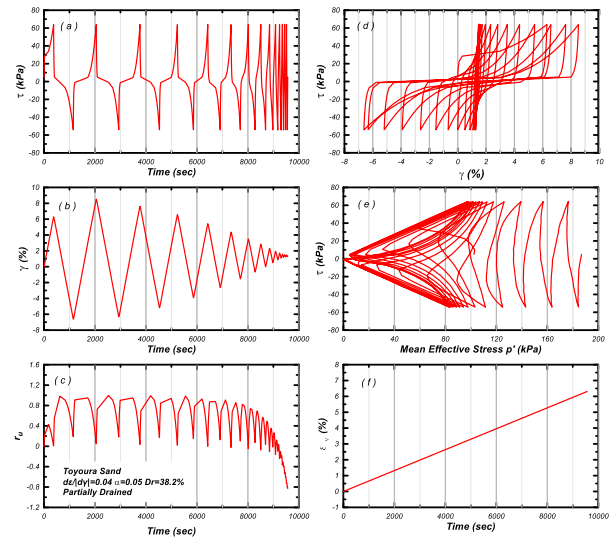


図-3 実験結果一例($Dr=40\%, \beta=0.04, CSR=0.60$)

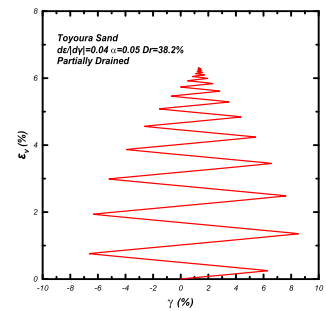


図-4 体積ひずみとせん断ひずみの関係

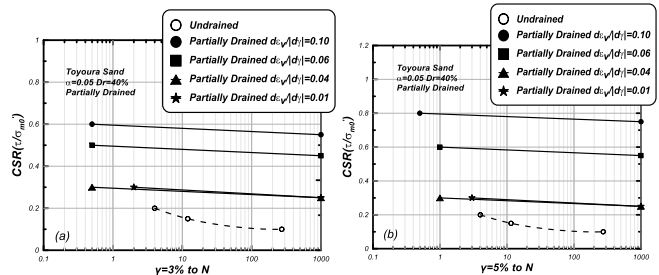


図-5 液状化強度曲線(40%液状化強度曲線)

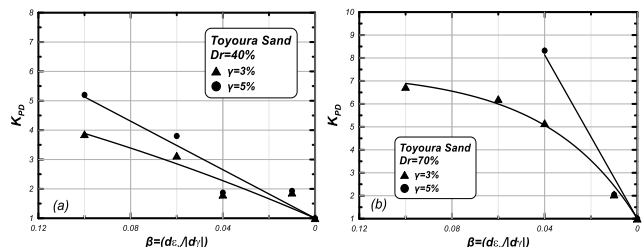


図-6 ひずみ増分比(β)と強度増加率(K_{PD})の関係