

間隙の再配分を考慮した液状化強度評価のための部分排水繰返しせん断試験

日本大学大学院 学生会員 ○谷田貝航 日本大学工学部 正会員 仙頭紀明

1.研究の目的及び背景 過去の地震では時間遅れを伴う地盤の変形や大量の噴砂の発生等の被害が報告されている^{1),2)}。これらの現象を説明するためには過剰間隙水圧の消散による間隙の再配分を考慮する必要があることが指摘されている³⁾。間隙の再配分の模式図を図-1に示す³⁾。この消散過程では、低透水層直下の液状化層上部では間隙水が捕捉され体積膨張し、液状化層下部では体積収縮が生じる。そのような経緯より液状化層上部では、間隙比の増加により進行性破壊が発生し、前述の被害が生じたものと考えられる。本研究ではこの体積膨張が起こる箇所に着目し、中空ねじりせん断試験装置を用いて間隙の再配分を考慮した部分排水繰返しせん断試験⁴⁾を行った。実験では体積ひずみ・せん断ひずみ速度を制御して与えることで、間隙水の流入が砂の強度・変形特性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする。

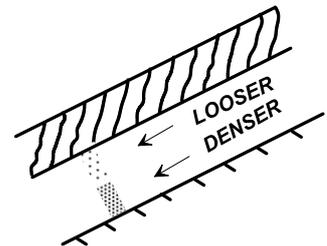


図-1 間隙の再配分の模式図³⁾

2.実験手順 本試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-2示す。なお、間隙水を注入するために体積ひずみ制御装置を用いた。本装置はモーターの回転運動をボールねじとナットにより直動運動に変換することで、直径2cmのピストンを前後に動かす構造になっている。モーターはパルスモーターであり、1ステップあたりのピストンの移動量が0.00002mmとなるように設定した。すなわち原理的には1ステップあたり $6.28 \times 10^{-6} \text{cc}$ の間隙水の注入量を制御することができる。試料には豊浦砂を用いた。試料の物理特性を図-3に示す。供試体は外径7cm、内径3cm、高さ10cmである。供試体は空中落下法により作製した。なお目標相対密度 D_r は40%(緩詰), 70%(密詰)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載荷した。なお、供試体の B 値は95%以上を目標とした。その後、供試体は有効拘束圧100kPaで等方圧密した。圧密終了後、初期せん断応力($\tau_{im}=5\text{kPa}$)を排水条件で載荷した後、所定の応力振幅で繰返しせん断を載荷した。その際せん断ひずみ速度は1%/minとした。部分排水試験では、体積ひずみ増分・せん断ひずみ増分比($d\varepsilon_v/d\gamma$)を-0.01、-0.04、-0.06、-0.10とし注入量を制御した。ここで符号のマイナスは体積膨張(間隙水の流入)を意味する。また試験ケースを表-1に示す。ケース1,2は非排水試験、ケース3~9は部分排水試験である。繰返し載荷試験ではせん断ひずみが片振幅(SA)20%に達したら試験を終了した。

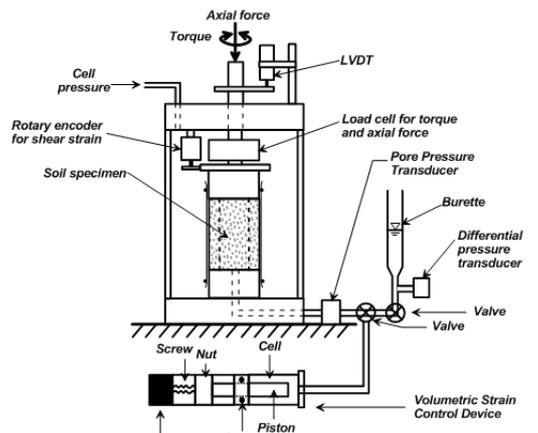


図-2 試験装置の概略図

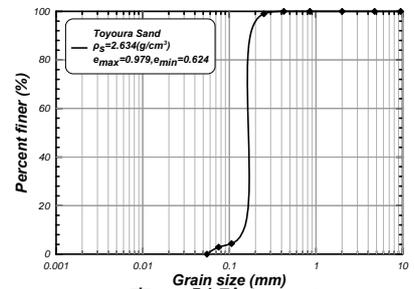


表-1 試験ケース

図-3 試料の物理特性

排水条件	相対密度 $D_r(\%)$	応力比 t/σ_v'	$d\varepsilon_v/d\gamma$		
非排水	1-1	72.7	0.15	-	
	1-2	73.4	0.20		
	1-3	67.3	0.40		
	2-1	41.0	0.10		
	2-2	37.0	0.15		
	2-3	42.5	0.20		
	3-1	69.2	0.10		-0.01
	3-2	72.9	0.20		
	3-3	68.3	0.40		
部分排水	4-1	74.1	0.10	-0.04	
	4-2	73.5	0.20		
	4-3	74.1	0.40		
	5-1	37.9	0.10		
	5-2	38.0	0.08		
	5-3	43.9	0.05		
	6-1	68.0	0.10	-0.06	
	6-2	74.8	0.20		
	6-3	67.1	0.40		
	7-1	37.7	0.15		
	7-2	38.0	0.10		
	7-3	42.7	0.05		
-0.10	8-1	67.5	0.10		
	8-2	71.9	0.20		
	8-3	66.0	0.40		
	9-1	42.2	0.05		
	9-2	43.4	0.08		
	9-3	41.9	0.10		
9-4	39.8	0.12			

3.試験結果及び考察 図-4,5に $D_r=70\%$ および $D_r=40\%$ の非排水条件、部分排水条件における応力-ひずみ関係、有効応力経路を示す。応力-ひずみ関係を比較すると部分排水条件の方が著しい剛性の低下を示し、少ない載荷回数でせん断ひずみが20%に達することがわかる。ここで $D_r=40\%$ の応力-ひずみ関係(図-5(a),(c))を比較すると部

キーワード：液状化、間隙の再配分、部分排水繰返しせん断試験

連絡先：福島県郡山市徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858

分排水条件の方で急激なひずみの発生が見られた。また有効応力経路を比較すると部分排水試験では、非排水試験のように有効応力がゼロに達した後はサイクリックモビリティを示さなかった。また有効応力経路(図-5(b),(d))をみると $p'=40\text{kPa}$ までの载荷回数を比較すると非排水条件では 267 回、部分排水条件では 9 回と部分排水試験の試料が著しい強度低下を示した。

図-6,7 に $SA=20\%$ の時の液状化強度曲線を示す。同図に既往の解析結果⁴⁾も合わせて示した。 $Dr=40\%,70\%$ ともに実験値と解析値の液状化強度曲線の傾向は概ね一致したが、解析結果は勾配が急となる傾向を示した。また $Dr=70\%$ では $d\varepsilon_v/d\gamma=-0.01$ の液状化強度曲線は非排水条件の強度曲線とほぼ等しく間隙水流入の影響は小さくなった。図-8 は部分排水補正係数 ($K_{PD}=CRR_{PD}/CRR_{UD}$) と $d\varepsilon_v/d\gamma$ の関係を示す。ここで K_{PD} は部分排水条件の液状化強度(CRR_{PD})を非排水条件の液状化強度(CRR_{UD})で除した値である。また CRR は $N=15$ 回の時の繰返しせん断応力比である。なお液状化判定基準は $SA=20\%$ に加えて $SA=5\%$ の結果も示した。 K_{PD} は $d\varepsilon_v/d\gamma$ の増加するにつれて低下する傾向にあり、 $d\varepsilon_v/d\gamma=-0.04$ から -0.10 にかけては緩やかに低下した。 $SA=20\%$ では $Dr=70\%$ は約 0.4、 $Dr=40\%$ は約 0.5 に漸近した。一方、 $SA=5\%$ では $Dr=70\%$ は約 0.6 と $SA=20\%$ に比べて増加しているのに対して、 $Dr=40\%$ は $SA=20\%$ とほぼ等しい結果となった。

謝辞 本研究は文部科学省の科学研究費(基盤研究(A):課題番号 23246086(代表:風間基樹))の援助を受けました。記して謝意を示します。

参考文献

- 1)土木学会:新潟地震震害調査報告書,第 13 編,pp. 836-837, 1966.
- 2)浦安市:浦安市液状化対策技術検討調査委員会資料, 2011.
- 3)NRC. Liquefaction of soils during earthquakes report. Washington, DC:National Academy press, pp23-24,1985.
- 4)Kamai, R. and Boulanger, R., W.:Single-element simulations of partial-drainage effects under monotonic and cyclic loading,Soil Dynamics and Earthquake Engineering35, pp29-40, 2012.

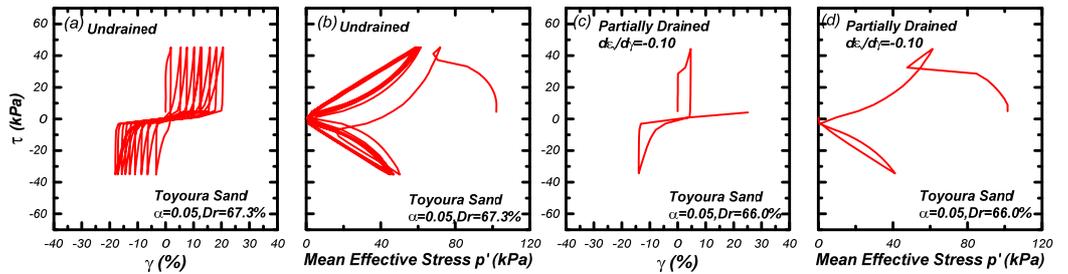


図-4 応力-ひずみ関係及び有効応力経路(case1-3,case8-3)

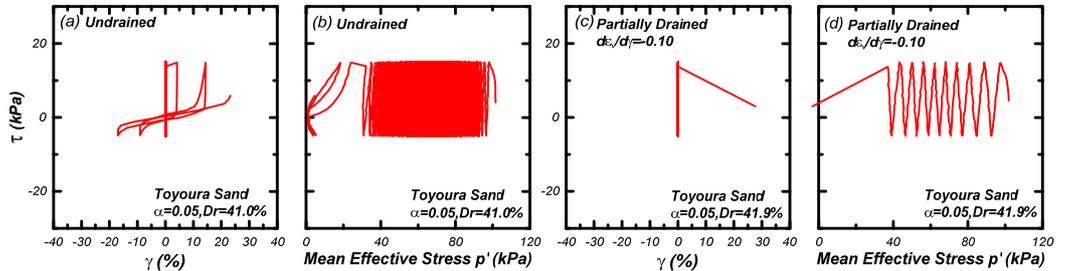


図-5 応力-ひずみ関係及び有効応力経路(case2-1,case9-3)

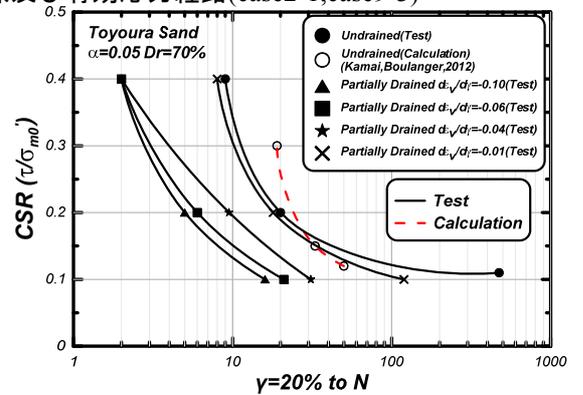


図-6 液状化強度曲線($Dr=70\%$)

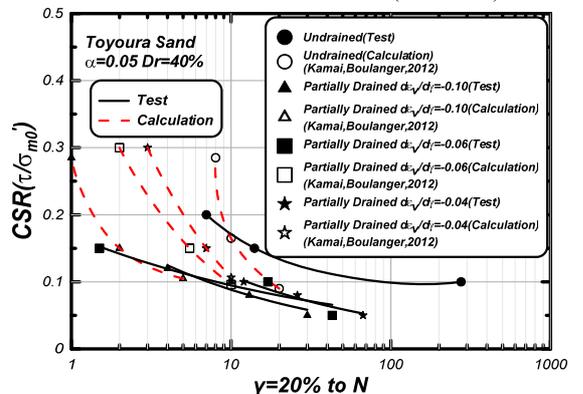


図-7 液状化強度曲線($Dr=40\%$)

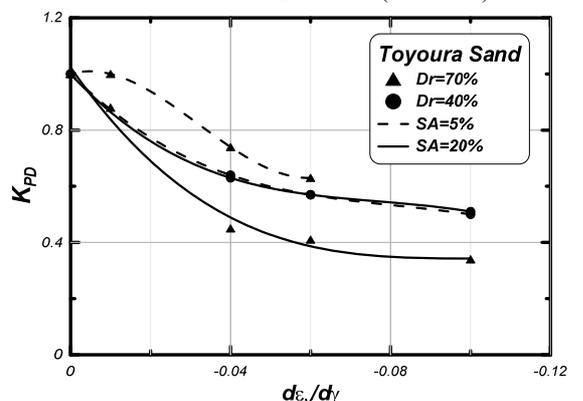


図-8 $K_{PD}-d\varepsilon_v/d\gamma$ の関係