

# 間隙の再配分による体積変化を伴う砂の 繰返しせん断特性に関する研究

日本大学大学院工学研究科・学生会員 ○谷田 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** 東日本大震災では時間遅れを伴う地盤変状被害が報告されている<sup>1),2)</sup>。その一方、東京港木材埠頭は地盤変状被害をまぬがれた。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。間隙の再配分の概略図を図-1に示す<sup>3)</sup>。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は間隙比の増加が発生し、液状化層下部は間隙比の減少が発生し、前述のような事例が発生したと考えられる。本研究ではこの体積膨張・体積収縮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・流出が砂の強度・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。

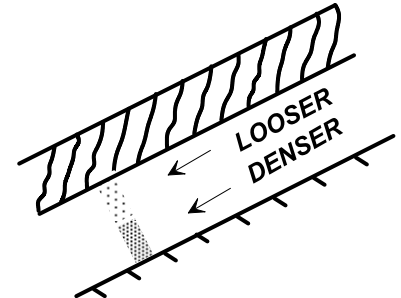


図-1 間隙の再配分の概略図

**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 $6.28 \times 10^{-6}$ 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。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。なお相対密度 $Dr$ は70%(密詰),40%(緩詰)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( $\tau_{ini}=5kPa$ )

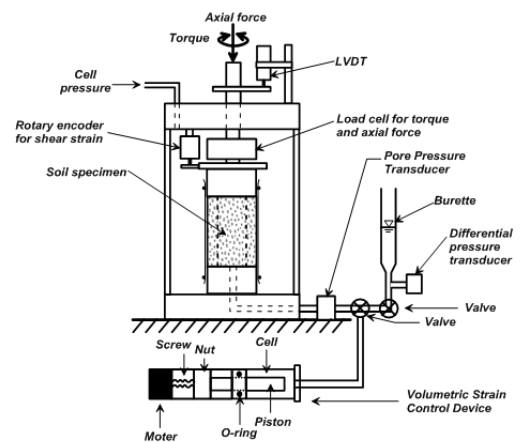


図-2 試験装置の概略図

表-1 試験ケース

排水条件	相対密度 $Dr(\%)$	応力比 $\tau/\sigma'_v$	$d\varepsilon_v/d\gamma$
非排水	70.0	0.15~0.40	
	40.0	0.10~0.20	
部分排水 (体積膨張)	70.0	0.10~0.40	-0.01
	70.0	0.10~0.40	-0.04
	40.0	0.05~0.10	
	70.0	0.10~0.40	-0.06
	40.0	0.05~0.15	
	70.0	0.10~0.40	-0.10
40.0	0.05~0.12		
部分排水 (体積収縮)	70.0	0.40~0.60	0.01
	40.0	0.30~0.60	
	70.0	0.60~1.80	0.04
	40.0	0.30~0.60	
	70.0	0.80~1.60	0.06
	40.0	0.50~0.70	
	70.0	0.80~1.40	0.10
	40.0	0.20~1.00	

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。本試験はひずみ増分比( $d\varepsilon_v/d\gamma$ )を表-1とし注入、流出量を制御した。ここで符号のマイナスは体積膨張、プラスは体積収縮を意味する。また試験ケースを表-1に示す。ケース1は非排水試験、ケース2~5は体積膨張を伴う部分排水試験、6~9は体積収縮を伴う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)5%または20%に達したら試験を終了した。

**3.実験結果** 図-3に $Dr=70\%,40\%$ の非排水試験の典型的な応力-ひずみ関係((a),(c))及び有効応力経路((b),(c))を示す。また、間隙水流入時は図-4、間隙水流出時は図-5に示す。全体的な傾向として、間隙水流入時は急激な強度低下を

キーワード:間隙の再配分, ひずみ増分比, 液状化判定, 中空ねじりせん断試験

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

起こす脆性的な傾向があり、間隙水流出時はねばり強い傾向を示している。また、非排水試験(図-3(c))と膨張を伴う部分排水試験(図-4(c))の応力-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、少ない载荷回数でせん断ひずみが20%に達することがわかる。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、 $p'=40\text{kPa}$  までの载荷回数を比較すると非排水条件では267回、膨張を伴う部分排水条件では9回と部分排水試験の試料が著しい強度低下を示した。一方、流出を伴う部分排水試験の有効応力経路(図-5(b),(d))に着目すると、有効応力が減少した後、増加に転じ剛性回復が生じる。また、 $Dr=40\%$ の応力-ひずみ関係(図-5(c))に着目すると、 $Dr=70\%$ のような密な砂の挙動を示す。

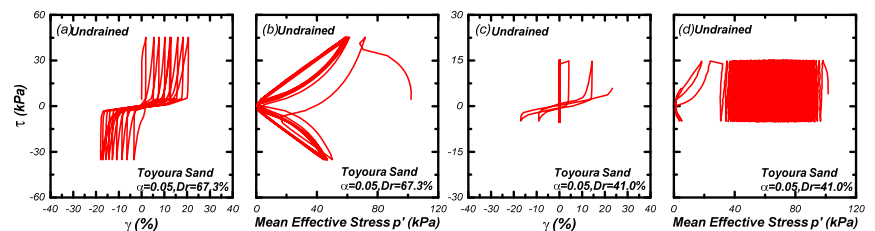


図-3 非排水試験の応力-ひずみ関係及び有効応力経路

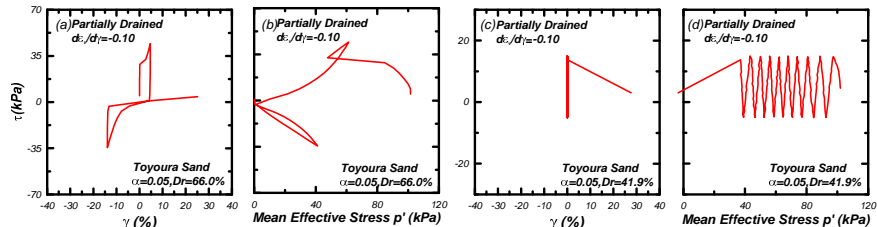


図-4 膨張を伴う応力-ひずみ関係及び有効応力経路

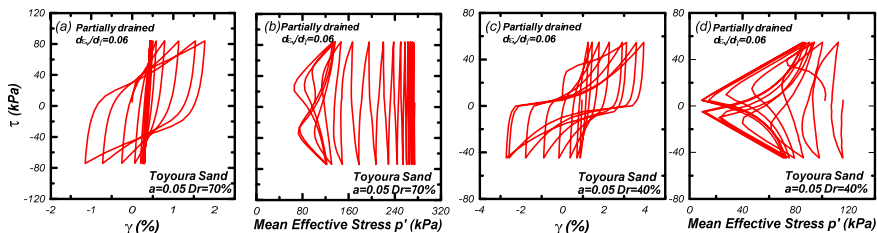


図-5 収縮を伴う応力-ひずみ関係及び有効応力経路

-6 に  $Dr=70\%$ における膨張を伴う  $Dr=70\%$ の液状化強度曲線を示す。全体的な傾向として、非排水試験と比較し強度低下が生じた。また、部分排水試験の強度曲線において、0.4 と高い応力比のもとでは  $d\varepsilon_v/d\gamma$ の影響はほぼ見られなかった。加えて、非排水試験と比較すると  $d\varepsilon_v/d\gamma=-0.01$ の液状化強度曲線は非排水条件よりの強度曲線に類似し間隙水の影響は小さくなった。また、非排水条件と部分排水条件の载荷回数15回の液状化強度を比較すると、最大で約65%の強度低下が発生した。図-7は  $SA=5\%$ 時の部分排水補正係数( $K_{PD}=CRR_{PD}/CRR_{UD}$ )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。傾向として  $K_{PD}$ は体積膨張時に低下し、体積収縮時に増加する。加えて、体積膨張時において、 $K_{PD}$ は相対密度によらず同様の強度低下の傾向を示す一方、体積収縮時において、 $Dr=70\%$ は40%と比較して著しく強度増加している。また  $K_{PD}$ は収束する傾向があり、その値は体積膨張時  $Dr=40\%$ は約0.5、 $Dr=70\%$ は約0.6、体積収縮時  $Dr=40\%$ は約5に漸近した。

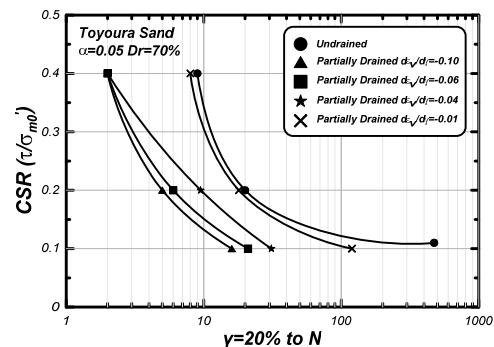


図-6 液状化強度( $Dr=70\%$ )

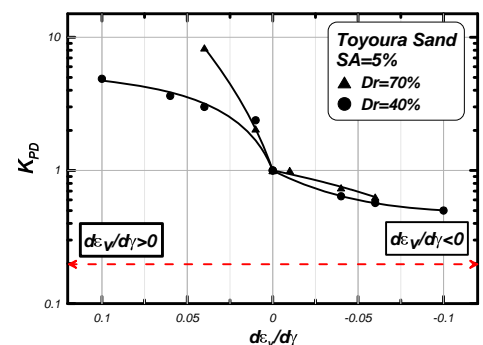


図-7  $K_{PD}-d\varepsilon_v/d\gamma$ の関係 ( $SA=5\%$ )

**4.まとめ** 間隙の再配分を考慮した部分排水繰返しせん断試験を行い、間隙水の流入、流出時の応力-ひずみ関係、有効応力経路より強度・変形特性を評価した。また、部分排水補正係数  $K_{PD}$ を提案し、間隙の再配分を考慮した液状化強度を算出した。

**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)浦安市:浦安市液状化対策技術検討調査委員会資料, 2011. 2) 中村ら(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による福島県中通りおよびいわき地域における地盤災害,地盤工学ジャーナル, vol.7, No.1, pp.93-95. 3)NRC. Liquefaction of soils during earthquakes report. Washington, DC:National Academy press, pp23-24,1985.