

## 液状化流動地盤の間隙水圧消散特性及び側方変形特性評価

筑波大学大学院 学生会員 岩田 直泰  
 筑波大学大学院 松本 優明  
 筑波大学 正会員 松島 亘志  
 筑波大学 正会員 山田 恭央

### 1. 序論

近年、液状化災害として側方流動に起因した被害が多数報告されている。液状化地盤が側方流動する際には間隙水圧が消散することが知られているが、それが、粒状体がせん断力を受ける際に生じるダイレタンシー効果によるものか、あるいは地盤の排水性そのものによるものかについては明確になっていない。本研究では、地震時の地盤要素をシミュレートし、液状化流動地盤の間隙水圧消散に焦点をあて、側方流動時の剛性回復特性について検討を加えるとともに、液状化供試体の側方変形特性をより簡略に評価する方法を提案している。

### 2. 試験装置と試験方法

試験に用いた中空ねじりせん断試験装置には、精密位置決めテーブルとピストンから成る排水量制御システムを組み込み、メンブレンペネトレーション補正ならびに部分排水制御を行っている。部分排水量を示すパラメーターとして、排水効果係数  $D_e$  を次式<sup>[1]</sup> のように定義した。

$$\Delta v = D_e \times \Delta t \times u_e \quad (1)$$

ここで、 $\Delta v$  は体積ひずみ（%）、 $D_e$  は排水効果係数  $(\text{kPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 、 $u_e$  は過剰間隙水圧である。

試料には豊浦砂を用い、空中落下法により作成した供試体を  $B$  値が 96 以上になるよう飽和させた後、有効拘束圧 98 kPa で試験を行った。

Fig. 1(a) に示すように、応力振幅一定の繰返しせん断により液状化させた供試体を、せん断速度一定で一方向に単純せん断し、側方流動時の剛性回復過程をシミュレートしている。

Fig. 1(b) および (c) に示すように、繰返しせん断により間隙水圧が上昇し、液状化の発生により供試体の

せん断剛性は著しく低下する。繰返しせん断過程において、ひずみが予め設定したしきい値（以下、分岐ひずみと呼ぶ）を超えたところで、繰返しせん断から単純せん断へ移行している。Fig. 1(d) は有効応力経路を示している。単純せん断時には有効応力は破壊線に沿って回復していくため、単純せん断速度が速い程、間隙水圧の消散は速くなるが、せん断速度の違いは変形特性に影響を与えないことは東畑ら<sup>[2]</sup> によって報告されている。

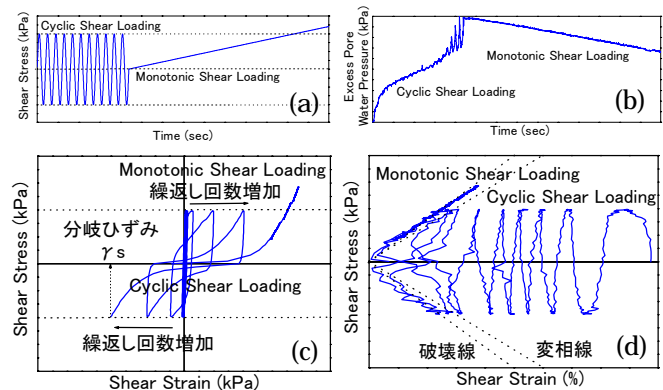


Fig. 1 剛性回復シミュレーション試験

既往の研究では、単純せん断過程はひずみ制御で行われるのが一般的であったが、本研究では、応力制御で試験を行っている。地盤流動の駆動力は重力であり、応力制御の方が実地盤をより適切にシミュレートしているものと考えられる。

Table 1 は、各試験条件及び供試体の詳細をまとめた表で、ここに  $\tau/t$  は単純せん断速度を表している。

Table 1 試験条件及び供試体の詳細

Data name	e	Dr (%)	$\gamma_s$ (%)	$\tau/t$ (kPa/s)	$D_e$ (kPa·s) <sup>-1</sup>
strs 02	0.798	48.1	5.0	1.0	0
strs 03	0.802	47.1	-5.0	2.0	$1.0 \times 10^{-6}$
strs 04	0.785	51.7	No Liquefaction		$2.0 \times 10^{-6}$
strs 05	0.780	53.0	No Liquefaction		$5.0 \times 10^{-6}$
strs 06	0.779	53.3	-5.0	1.0	0
strs 07	0.783	52.1	-15.0	2.0	0
strs 08	0.780	52.9	-10.0	2.0	0
strs 10	0.796	48.5	-5.0	5.0	0
strs 18	0.790	50.4	-5.0	2.0	$0.5 \times 10^{-6}$

キーワード：液状化 側方流動 剛性回復

連絡先：〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 tel 0298-53-5164

3. 繰返しせん断過程における排水の効果

Fig. 2 は、排水効果係数の異なる繰返しせん断過程の試験結果である。排水効果が大きい方が液状化は発生しにくくなっており、透水性のよい地盤や排水を促進させる液状化対策工を施した地盤は、他の地盤より液状化しにくいことが期待できる。

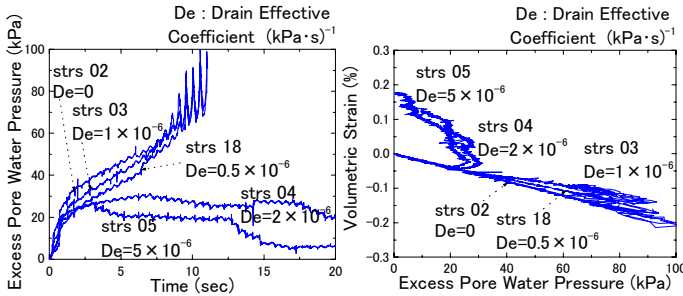


Fig.2 繰返しせん断過程に及ぼす排水の効果

4. 単純せん断過程における排水の効果

Fig. 3(a) は、液状化発生後の単純せん断過程において排水効果係数の異なる試験結果を比較したものである。この図より、排水効果は側方変形特性にほとんど影響していないことがわかる。Fig. 3(b) に示すように、単純せん断に移行後、供試体の剛性は極めて短時間に回復しており、(1) 式に基づく排水制御ではその効果はほとんど認められない。

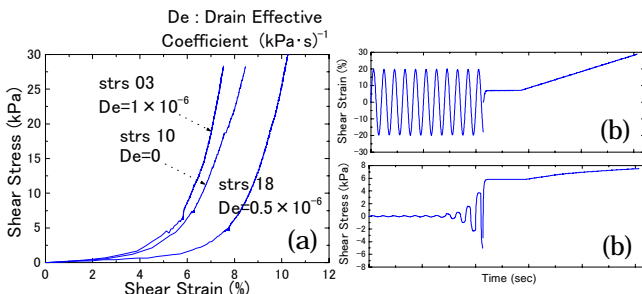


Fig. 3 単純せん断過程に及ぼす排水の効果

5. 累積損失エネルギー-過剰間隙水圧関係

Fig.4 は、せん断応力-せん断ひずみ履歴ループの面積より算出される損失エネルギーと過剰間隙水圧の関係を示したものである。両者に強い相関があることを

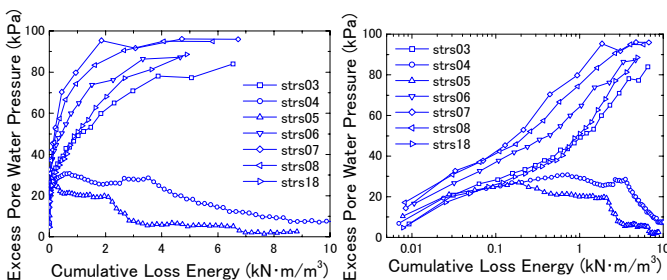


Fig. 4 エネルギー-間隙水圧関係

Towhata ら<sup>[3]</sup> は報告しているが、排水制御を行った際には、間隙水圧が消散するためにこの相関が崩れている。

6. 繰返しせん断試験による側方変形特性の評価

Fig. 5 は、分岐ひずみ -15% の繰返しせん断過程及び単純せん断過程の試験データ上に、分岐ひずみ -5% と -10% の単純せん断過程の試験データを重ねてプロットした図である。この図より、繰返しせん断過程におけるサイクリックモビリティー曲線と単純せん断過程における剛性回復曲線は、ほぼ同一の形状を呈していることがわかる。繰返しせん断過程のサイクリックモビリティー現象も、単純せん断過程における剛性回復現象も、砂粒子の再構成により剛性を回復するというメカニズムは同一であり、複雑な試験を行うことなく、通常の繰返しせん断試験より側方変形時の剛性回復特性を評価することが可能であると考えられる。また、サイクリックモビリティーを考慮した既往の応力-ひずみ構成則を用いて、側方変形特性を解析的に評価することも可能であると考えられる。

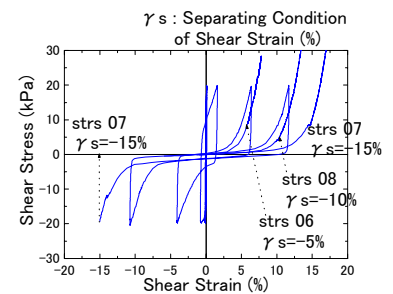


Fig.5 側方変形特性の評価

7. 結論

- 1) 側方変形時の間隙水圧の消散には、地盤の排水効果にはほとんど寄与しておらず、ダイレイタンスー効果の方が支配的である。
- 2) 側方変形特性は、単純せん断試験を行うことなく繰返しせん断試験から評価することが可能である。

参考文献

[1] 中野・山田：排水量を制御した飽和砂のオンライン試験，第 29 回土質工学研究発表会発表講演集，pp.737-738,1991.6  
 [2] 荅口・下川・高地・東畑・芳川：液状化した砂におけるねじりせん断試験によるひずみ速度依存性の検討，土木学会論文集，No.680/III -55,97-107,2001.6  
 [3] Towhata.I・Ishihara.K:Shear Work and Pore Water Pressure in Undrained Shear, Soils and Foundations, Vol.25,No.3,pp.73-84,1985