

# 土のねじり単純せん断試験 (I)

## —試験機の開発—

Stress-strain Behavior of Soil by Torsional Simple Shear Test (I)  
— Development of Apparatus —

福島伸二\*・龍岡文夫\*

Shinji FUKUSHIMA and Fumio TATSUOKA

### 1. ま え が き

従来、原位置における応力・ひずみ状態にある土の強度・変形特性を測定する代表的な室内試験装置は、三軸圧縮試験機であった。この試験では、図1の一番左に示す様に、軸対称の応力状態が再現できる。しかし、たとえば図2に示すような、斜面や、盛土内の土の要素が受けている複雑な応力・ひずみ状態を、三軸圧縮試験機で再現することは困難である。図2の例では、斜面の長手方向の変形は生じないので、この方向のひずみ  $\epsilon_r$  はゼロである。これを平面ひずみ状態と呼んでいる。図2に示す要素は、平面ひずみ状態を保ったまま単純せん断変形をすることになる。土は、非線型かつ異方的な物性を持っているために、このような種々な応力・ひずみ状態によって、強度変形特性が著しく左右される。このため、新たに図2に示す様な応力状態を再現しうる試験機を開発した。この試験機を用いて、中空円筒形の土の供試体をねじることによって、単純せん断変形を生じさせるので、この試験機を「ねじり単純せん断試験機 (Torsional Simple Shear Apparatus, 略して TSSA)」と呼ぶこととする。ここでは、試験機の原理と、予備的に行った実験の結果を報告する。

### 2. ねじり単純せん断試験機の特徴

この種の試験機は既に、Broms and Casbarian (1965)<sup>1)</sup>, Saada and Baah (1967)<sup>2)</sup>, 吉見・大岡 (1971)<sup>3)</sup>, Lade (1967)<sup>4)</sup>, 石原・李 (1972)<sup>5)</sup>, Ishibashi and Sherif (1974)<sup>6)</sup>, 岩崎・龍岡・高木 (1978)<sup>7)</sup> によって用いられているが、これらの従来の試験機では図2の様に平面ひずみ状態を保ちながら、単純せん断試験を行えるようになっていない。今回開発したねじり単純せん断試験機では、この種の試験が可能である。今回採用したねじり単純せん断試験法と従来の各種の試験法との比較を図1に示す。原位置で頻繁に生じうる単純せん断

\*東京大学生産技術研究所 第5部

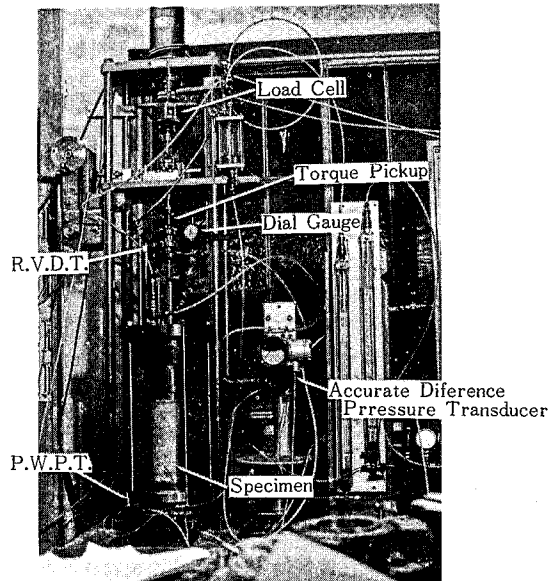


写真1 ねじり単純せん断試験機

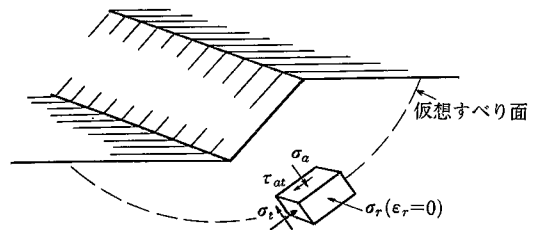


図2 平面ひずみ状態における単純せん断

ん断を再現するものとして、各種の「単純せん断試験機」が開発されてきたが、供試体境界端面に、せん断応力を十分に、または全く発生させ得ないとか、供試体隅角部での応力集中が生じやすいなど、実際には、単純せん断から程遠い状態になっている。ねじり単純せん断試験は、この境界端面をなくしたものであり、いわば、"endless simple

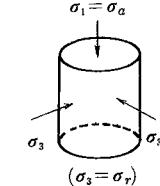
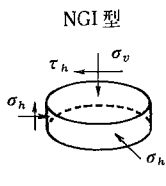
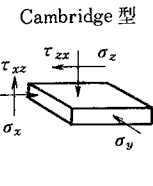
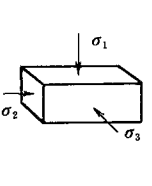
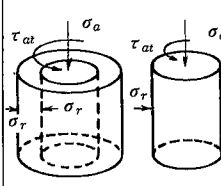
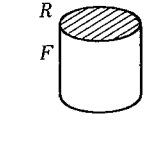
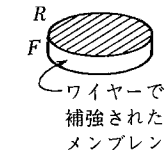
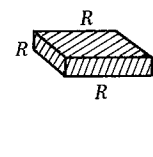
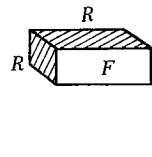
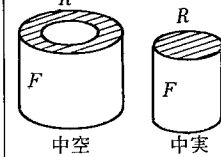
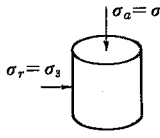
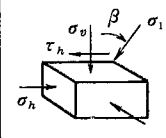
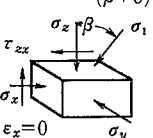
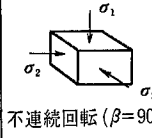
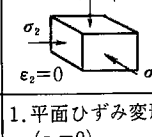
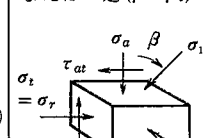
項目	三軸	単純せん断		平面ひずみ	ねじり単純せん断
供試体		NGI型 	Cambridge型 		
境界条件 R: 剛性 F: たわみ性					
制御可能 応力成分	$\sigma_a \quad \sigma_r$	$\sigma_v \quad \tau_h$	$\sigma_z \quad \tau_{zx}$	$\sigma_1 \quad \sigma_3$ ( $\sigma_2$ は測定)	$\sigma_a \quad \sigma_r \quad \tau_{at}$
圧密状態	1. 等方 ( $\sigma_a = \sigma_r$ ) 2. 異方 ( $\sigma_a \neq \sigma_r$ )	1. 準 $K_0$ 圧密* $\sigma_h = K_0 \sigma_v$ 2. $K_0$ 値は未知 ( $\sigma_h$ が未知) *ワイヤーの伸びのため完全な $K_0$ 状態ではない.	1. $K_0$ 圧密 $\sigma_x = \sigma_y = K_0 \sigma_z$ 2. $K_0$ 値は既知	1. 1方向拘束で圧密 ( $K_0$ 圧密が可能)なものもある	1. 等方 ( $\sigma_a = \sigma_r \quad \tau_{at} = 0$ ) $\sigma_a = \sigma_r \quad \tau_{at} \neq 0$ 2. 異方 ( $\sigma_a \neq \sigma_r \quad \tau_{at} = 0$ ) $\sigma_a \neq \sigma_r \quad \tau_{at} \neq 0$ 3. $K_0$ 圧密が可能なものもある ( $K_0$ 値は既知)
せん断中の 応力状態	1. 軸対称応力状態 $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ (T.C.) $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ (T.E.) T.C.: 三軸圧縮 T.E.: 三軸伸張	1. 単純せん断状態 (せん断応力の共役性は保たれていない) 2. $\sigma_h$ は未知 3. 3主応力状態であるがその値は未知 ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) 4. 準平面ひずみ	1. 単純せん断状態 (せん断応力の共役性は完全には保たれていない) 2. $\sigma_x$ は測定 3. 3主応力状態 ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) 4. $\tau_{xz} \neq \tau_{zx}$ 5. 平面ひずみ	1. 平面ひずみ応力状態 2. 3主応力状態 ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) (3つの主応力は既知)	1. 単純せん断状態 (せん断応力の共役性は保たれている) 2. $\sigma_r = \sigma_a$ 3. 3主応力状態 ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ で3主応力は既知) 4. $\tau_{at}$ の分布が半径方向に非一様
主応力方向	一定 ( $\beta = 0$ ) 	連続的回転  $\beta$ の値は未知	連続的回転 ( $\beta \neq 0$ )  $\beta$ の値は既知	一定 ( $\beta = 0$ ) (PSC)  不連続回転 ( $\beta = 90^\circ$ ) (PSE) 	連続的回転 ( $\beta \neq 0$ ), または一定 ( $\beta = \beta_0$ )  $\sigma_t = \sigma_r$
ひずみ状態	1. 軸対称変形 ( $\epsilon_2 = \epsilon_3$ )	1. 準平面ひずみ変形 (周辺長一定であるが、面積一定とは限らない). 2. 単純せん断変形	1. 平面ひずみ変形 ( $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ ) 2. 単純せん断変形	1. 平面ひずみ変形 ( $\epsilon_2 = 0$ )	1. $\gamma_{at}$ の分布が半径方向に非一様 2. 単純せん断変形

図1 各種試験方法の比較

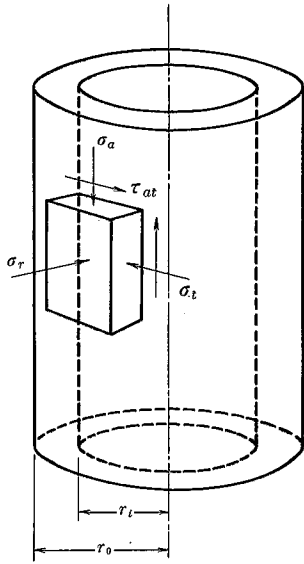


図3 供試体

shear”と言える。図3に供試体の応力状態を示すが、供試体の中の要素をとり出してみるといわゆる「単純せん断試験機」よりも、より真の単純せん断の応力・状態に近くなっていると言える。この試験機の全体写真を写真1に示す。この試験機の有する問題点としては、次のものが挙げられる。

- (1) 供試体の半径方向のせん断応力・せん断ひずみの分布が非一様である。これは、中空の薄肉供試体を用いることで、基本的には解決される。
- (2) 半径方向応力 $\sigma_r$ と、接線方向応力 $\sigma_t$ は常に一致している。この事が、どの程度結果に影響を及ぼすかは、現在研究中である。

### 3. ねじり単純せん断試験機の概要

図4に供試体を拘束するせん断室の概要を示す。平面ひずみ状態を再現するために、次の様な工夫をしてある。内セルの上板を供試体断面積と同じ面積をもつピストンで抜いてあるので、内セル内の水の水頭変化は供試体の断面積が変化した場合のみ生じることになる。ここで2重セルとしているのは外セルと内セル内の圧力を同じにして内セルの変形を防ぐためである。ピストンの周辺の水の水頭の変化は高精度差圧計(富士電機製、モデルF FB22)で監視した。差圧計の原理は図5に示す通りである。これを用いると内セル内の水の体積の変動なしに約1.2 $\mu$ mの水頭差を1mVの出力とすることができる。ピストンの径は80mmでありピストン周囲のクリアランスは1mmであるので、60 $\mu$ mの水頭差は約0.003CCの体積に相当する。今回用いた供試体は断面積が50.265

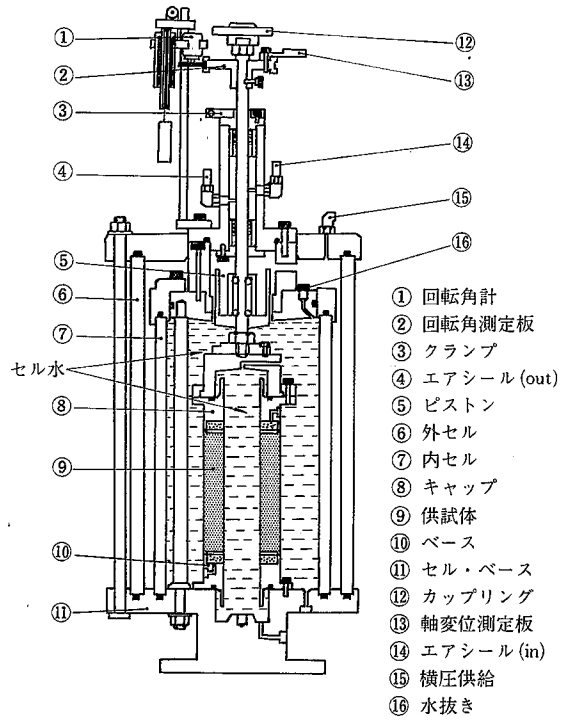


図4 試験機本体

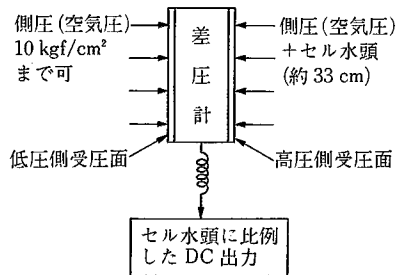


図5 差圧計の原理

cm<sup>2</sup>なので、これは3.0×10<sup>-4</sup>%の面積ひずみに相当する。これは十分な精度である。

したがって、圧密中の軸方向応力 $\sigma_a$ の変化に対して内セル内の水の水頭が変化しないように差圧計により監視しながら側圧(半径方向応力 $\sigma_r$ =円周方向応力 $\sigma_t$ )を調節した場合は供試体の断面積は一定(つまり側方変位は0)となるから側方ひずみが0となっている $K_0$ 圧密状態が達成できる訳である。またせん断中もせん断応力 $\tau_{at}$ の変化させている時に、供試体断面積一定の条件を満足させると $\sigma_r$ (= $\sigma_t$ )方向を軸として主応力方向が回転する状態での平面ひずみ試験(より一般的な平面ひずみ試験)が可能となる。これにより図2に示すような斜面や盛土の内部の要素のような平面ひずみ状態での単純せん

断変形をうまく再現できる。

謝 辞

本試験装置は、昭和53年度東京大学生産技術研究所選定研究費によって製作した。また、試作工場で、各種付属部品を製作した。また、三木教授には、ご指導を仰いでいる。法政大学4年生(当時)中島啓氏には、卒業論文研究として、当研究を手伝っていただいた。末筆ながら、関係各位に感謝の意を表する。

(1980年6月30日受理)

文 献

- 1) Broms, B. B. and Casbarian, A. O. (1965): Effects of Rotation of the Principal Stress Axes and of the Intermediate Principal Stress on the Shear Strength, Proc. of the 6th I. C. S. M. F. E. Vol. I, pp. 179~183.
- 2) Saada, A. S. and Baah, A. K. (1967): Deformation and Failure of a Cross Anisotropic Clay under Combined Stresses, Proc. of the 3rd Pan - American C. S. M. F. E. Vol. I, pp. 67~88.
- 3) 吉見, 大岡 (1971): リングねじりせん断試験機による飽和砂の液状化実験, 第16回土質工学シンポジウム, pp. 27~32.
- 4) Lade, P. V. (1967): The Stress-Strain and Strength Characteristics of Cohesionless Soils, Ph. D. Thesis University of California, Berkeley
- 5) Ishihara, K. and Li, S. (1972): Liquefaction of Saturated Sand in Triaxial Shear Test. Soils and Foundations Vol. 12, No. 2.
- 6) Ishibashi, I. and Sherif, M. A. (1976): Soil Liquefaction by Torsional Simple Shear Device, Journal of the SMF Div., ASCE, Vol. 97, No. SM 4, pp. 871~888.
- 7) 岩崎, 龍岡, 高木 (1976): 広範囲なひずみ領域での砂の動的変形特性, 建設省土木研究所資料第1080号



正 誤 表 (9 月 号)

頁	種 別	正	誤
417	図 6	中心メッシュより Hm 以上高い部分	中心メッシュより 1 km 以上高い部分