

東京大学大学院 学生員 福島 伸二  
東京大学生産技術研究所 正員 龍田 文夫

### 1. まえがき

ねじり単純せん断試験機(以下TSSAという)は垂直応力とせん断応力をそれぞれ独立に加えることのできるもので、より原位置に近い応力状態を再現できる試験機である。しかしこの試験機では供試体にせん断応力を加えるには供試体キャップとベースの摩擦により行うので、この摩擦により供試体上下端面付近の変形の拘束は避けられない。このためこの変形の拘束の影響を小さくするにはある程度以上の高さをもつ供試体を用いる必要があるものと考えらる。そこでこのTSSAを用いて砂の非排水せん断試験を行ない供試体高さの有効応力経路、応力-ひずみ曲線に及ぼす影響を調べた。

### 2. 実験方法

実験は供試体(Fig.2)の断面寸法(外径 $D_o=10\text{cm}$ 、内径 $d_i=6\text{cm}$ )は一定とし、高さ $h=2, 4, 10, 20\text{cm}$ と変えて非排水せん断試験を行ない、供試体高さ $h$ が砂の有効応力経路、応力-ひずみ曲線に及ぼす影響について調べた。試料は豊浦砂( $G_s=2.64$ ,  $e_{\max}=0.96$ ,  $e_{\min}=0.64$ )を使用し、供試体乾燥状態のまま漏斗によりモールド内に自由落下(密度調節は漏斗からの砂の落下高さ $H$ により行ない、密結めでは $H \geq 0\text{cm}$ 、密結めでは $H=40\text{cm}$ と定めて)させて作製した。供試体作製後、供試体に二酸化炭素及び脱気水を通し、飽和させ、等方圧密後( $\sigma_a = \sigma_r = 1.0\text{kgf/cm}^2$ )非排水せん断試験を行なった。これらの試験は供試体高さ $h$ のみ変化させ、その他の条件、つまり供試体キャップ、ベースの条件(ボラーストーン+砂)、応力状態(等方圧密 $\sigma_a = \sigma_r$ 、中間主応力 $\sigma_2 = \sigma_r$  ( $b=0.5$ )), 主応力方向(回転して最大主応力方向は $\sigma_a$ 方向から $45^\circ$ の方向)、正規圧密、ひずみ速度( $\dot{\sigma}_{at} = 0.24\%/min$ )等の条件は全て同じにするようにした。尚、 $P = \frac{1}{3}(\sigma_a + \sigma_r + \sigma_t)$ である。

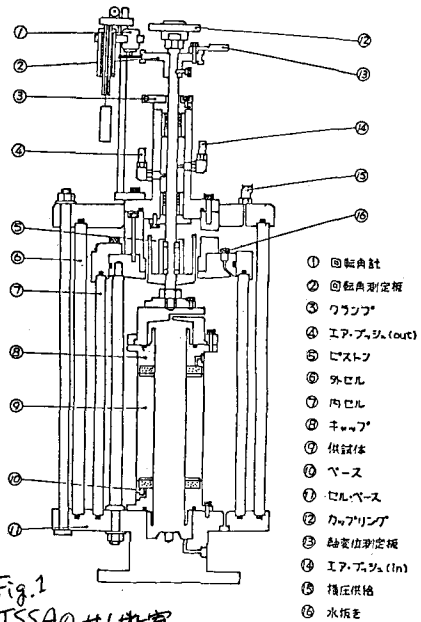
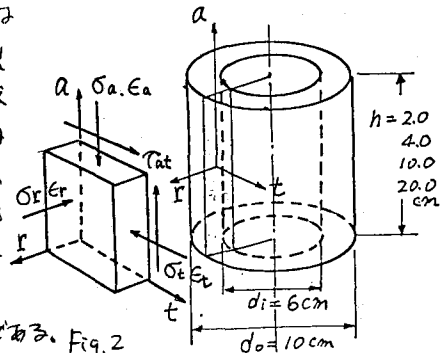


Fig. 1  
TSSAのせん断室



供試体寸法と供試体に作用する応力

### 3. 実験結果

Fig. 3(a)には密結め砂に対する各供試体の有効応力経路と、Fig. 3(b)に密結め砂に対する各供試体高さの応力-ひずみ曲線とそれぞれ示してある。これらの図から、有効応力経路は $h=10\text{cm}$ と $20\text{cm}$ の差は小さいが、供試体高さにかたじけなくより密着砂の挙動をすることからわかる。これは供試体高さにかたじけなく供試体両端面の変形の拘束の影響が大きくなるため、供試体が高さによりせん断初期の負のダイラタンシーから大きくなるためと考えらる。また応力-ひずみ曲線も供試体高さにより著しく異なり、供試体高さにかたじけなく $h=2\text{cm}$ と $4\text{cm}$ の供試体では明確なピークを示す、せん断応力は増加しつづけている。次にFig. 4(a), (b)には密結め砂に対する各供試体高さの有効応力経路、応力-ひずみ曲線とそれぞれ示してある。これらの図から、密結め砂においても供

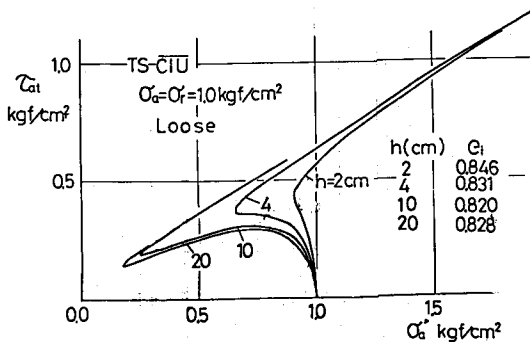


Fig. 3(a) 有効応力経路 (緩詰め砂)

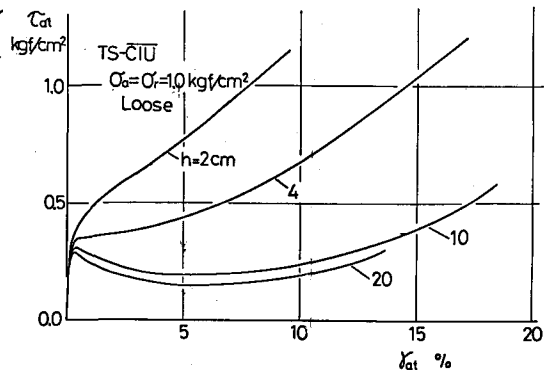


Fig. 3(b) 応力-ひずみ曲線 (緩詰め砂)

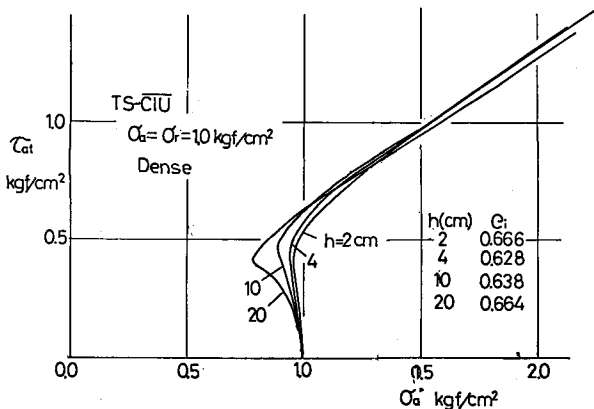


Fig. 4(a) 有効応力経路 (密詰め砂)

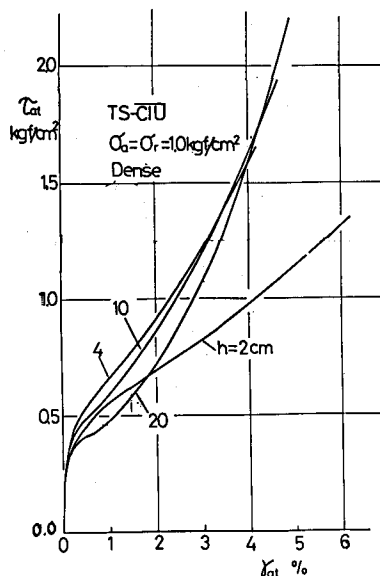


Fig. 4(b) 応力-ひずみ曲線 (密詰め砂)

せん断高さが小さいほどせん断初期の負のダイレイタシーが小さく、有効応力経路、応力-ひずみ曲線共に供試体高さにより差があることがわかるが、これらの差は緩詰め砂に比べて非常に小さい。

また、Fig. 4(b)の応力-ひずみ曲線を見ると、供試体高さが小さいほど、 $\gamma_{at} = 4\%$ 付近における応力-ひずみ曲線の立ち上がりが小さいことがわかる。これは、供試体高さが小さいほど変形が拘束されるため、正のダイレイタシーが生じにくいため、つまり、水の間隙水圧により有効応力が増加することによるせん断応力の増加が小さく抑えられるためと思われる。また Fig. 3, 4を通じて言えることは供試体高さが小さいほど有効応力経路、応力-ひずみ曲線が密度による差が小さい。このことを示しているのが次の Table 1 である。これは  $\gamma_{at} = 3\%$  に近い密詰め砂のせん断応力  $\tau_{at, Dense}$  と緩詰め砂のせん断応力  $\tau_{at, Loose}$  の比と供試体高さに対して求めたもので、この比は供試体高さが小さいほど小さくなっている。しかし  $h = 10\text{cm}$  と  $20\text{cm}$  の差は小さい。

| $h$<br>(cm) | $\frac{\tau_{at, Dense}}{\tau_{at, Loose}}$ at $\gamma_{at} = 3\%$ |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| 2           | 1.32                                                               |
| 4           | 3.21                                                               |
| 10          | 6.20                                                               |
| 20          | 6.29                                                               |

Table 1.

#### 4. 結 論

供試体高さが小さいと、供試体両端値の変形が拘束されるため、せん断中のダイレイタシーは生じにくくなり、密度による有効応力経路、応力-ひずみ曲線の差が小さくなる。また、供試体高さは  $h = 10\text{cm}$  以上は必要である。