

## 粘性土のベーンせん断強度に関する実験的考察

阿南工業高等専門学校 正員 米津 聖

### 1. まえがき

現場で原位置地盤のせん断強度を直接測定できるベーンせん断試験機も現在では室内用ベーンせん断試験機として改良され用いられている。しかしながら、ベーンせん断機構の特性については不明確な点も考えられる。そこで本文では原位置地盤内のせん断強度を間接的に推定するため圧密載荷装置により圧密土試料を人工的に作成し、三軸ベーン試験装置により実験結果を基にして Cadling の式を検証するとともに、圧密応力比  $K = \frac{\sigma_3}{\sigma_c}$  を変化させた場合についてのベーン端面上のせん断強度  $\tau_v$  について考察している。なお、ベーン試験から求まる残留強度については実験結果の報告にとどめている。

### 2. 試料および実験方法

実験に使用した土試料は徳島県内で採取した大谷粘土、川島粘土の2種類である。人工圧密粘土を作成するため粘性土を 2000 リットルでふるい、それに水を加えてスラリー状態にして圧密載荷装置で  $0.37 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $0.58 \text{ kgf/cm}^2$  の荷重を加えて作成する。この土試料の物理的性質は大谷粘土では  $G_s = 2.72$ ,  $w_p = 24.9\%$ ,  $w_L = 40.1\%$ ,  $I_p = 15.2\%$  であり、川島粘土では  $G_s = 2.84$ ,  $w_p = 30.0\%$ ,  $w_L = 44.1\%$ ,  $I_p = 44.1\%$  である。日本統一分類法では CL, CH に分類できる。

実験方法については図-1(a), (b) に示すような三軸ベーン装置を用いている。

三軸セル中のペデスタル底部より、直径 5 cm, 高さ 10 cm の供試体中にベーンを貫入（貫入深さ 5 cm）させ、ベーンの軸を電動変速機によって回転し、その時の回転角とトルクを測定する。供試体に作用する軸荷重と側液圧は任意に変えることができ、このとき作用する軸荷重は力計によって測定され、圧縮量は変位計によって求めることができる。

この実験に用いたベーンは直径  $D \times$  高さ  $H$ , ( $\%_H$ ) が  $8 \times 16$  (0.5),  $12 \times 12$  (1.0),  $12 \times 8$  (1.5),  $16 \times 8$  (2.0) の 4 種類のベーンで、 $0.5 < \%_H < 2.0$  の範囲内にあるものを使用した。このときのベーンの回転速度を  $1.75 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$  としている。

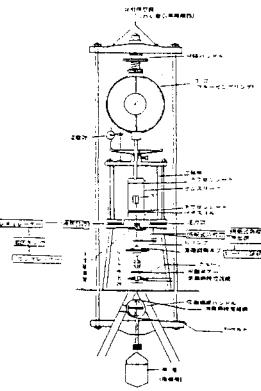


図-1(a) 三軸ベーン試験機機構

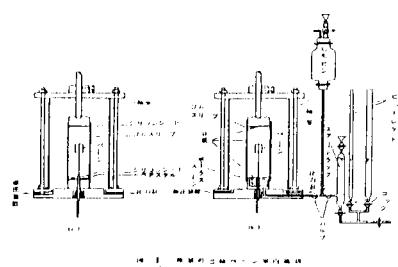


図-1(b) 二種類の三軸ベーン室内機構

### 3. 実験結果と考察

ベーン試験より最大トルク  $M_{max}$  を求め、せん断強度  $\tau_f$  を計算する。このときの  $\tau_f$  は Cadling 式よりも  $\tau_v = \tau_H = \tau_f$  として求められる。つまり、

$$M_{max} = \frac{\pi}{2} H D^2 \cdot \tau_v + \frac{\pi}{2} D^3 \alpha \cdot \tau_H \quad (1)$$

$$\text{式(1)より} \quad \tau_f = \frac{2 \cdot M_{max}}{\pi D^2 H (1 + \alpha \cdot \%_H)} \quad (2)$$

式(2)がえられる。

ここで、Cadling 式を検証するため柴田<sup>(1)</sup>は式(1)の両辺を圧密圧力  $\sigma_c$  で割って式(3)を求めている。

$$\frac{\tau}{\sigma_c} = \frac{2M}{\pi D^2 H} \cdot \frac{1}{\sigma_c} \left( 1 + \alpha \frac{D}{H} \right) \quad (3)$$

つまり、式(3)の中で係数 $\alpha$ を一定と仮定し、 $D$ と $\sigma_c$ を変化させても同一の $\frac{\tau}{\sigma_c}$ の値がえられるならば、ベーン試験の解析に式(1)を適用してもよいといふ必要条件が満足できること述べている。そこで、

Cadling式を検証するため本文では大谷粘土、川島粘土の2種類の粘土を

用いて係数 $\alpha$ をそれぞれ一定とし、ベーン寸法 $D$ を変化させた場合

のベーンせん断強度 $\tau_c$ と圧密圧力 $\sigma_c$ の比を図-2に示している。

この結果、ベーン寸法と圧密圧力が相違しているにもかかわらず、

ほぼ一定の $\frac{\tau_c}{\sigma_c}$ の値がえられていることが分かる。

さらに、三軸ベーン試験と上下部回転ベーン試験から求めた $\frac{\tau_c}{\sigma_c}$

値の比較表について考えてみると、係数 $\alpha = 0.33$ （長方形分布）を

一定とし、くい違ひの比率を調べてみると川島粘土では上、下部

回転ベーンと三軸ベーン試験値では1.9%，大谷粘土では

上、下部回転ベーン試験値と三軸ベーン試験値では4.4%，

下部回転ベーン試験値と三軸ベーン試験値では0.0%となる

ことから、ほぼ一定の $\frac{\tau_c}{\sigma_c}$ の値がえられていることが分かる。

図-3は最大圧密主応力 $\sigma_{c0}$ を地中で受けている有効土かぶり圧力に等しい値として、最小圧密主応力 $\sigma_{c0}$ を地中の水平

有効応力として考える。いま、 $\sigma_{c0}$ を種々に変化させ圧密応力比 $K$ を0.25～1.0の範囲内で変ると、ベーン回転にと

もなう鉛直面上のせん断応力 $\tau_c$ と $\sigma_{c0}$ との間には直線関係があり、 $\sigma_{c0}$ が大きくなるにつれて $\tau_c$ が大きくなっていることが確かめられる。図-4(a), (b)は三軸ベーン試験によ

る残留強度を求めた一例を示したものである。

上図は $\theta$ を一定にして $K$ を変化させ $\tau_c$ と $\theta$ の関係をプロットしたものであり、下図は $K$ を一定にして $\theta$ を変化させて $\tau_c$ と $\theta$ の関係を求める図である。図-4(a), (b)よりベーン形状、回転速度による違いが残留強度に大きく影響していることが分かる。

#### 参考文献

- 柴田徹；粘土のベーンせん断強度に関する研究 土木学会論文集 第138号 P.P.39～48.

- 米津聖；室内ベーンせん断試験に関する実験的考察 土と基礎 第267号 P.P.39～46.

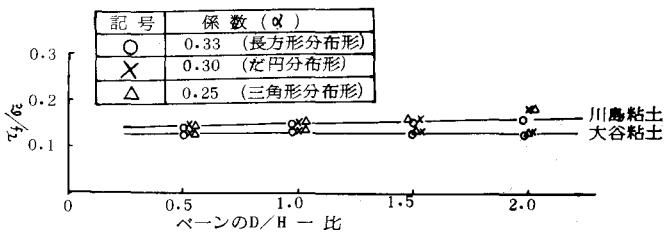


図-2 ベーン寸法が変化した場合のベーンせん断強度 $\tau_c$ と圧密圧力 $\sigma_c$ との比

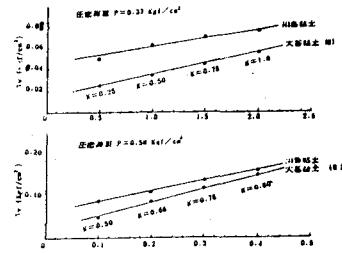


図-3  $\tau_c$ と $\sigma_c0$ の関係

表-1 上、下部回転ベーン試験と三軸ベーン試験から求めた $\tau_c/\sigma_c$ の比較表

川島粘土				压密荷重 0.37 kN/cm <sup>2</sup>			
回転機種	D/H	D × H (mm)	$\tau_c/\sigma_c$	三軸ベーン K=1.0			
				D/H	D × H (mm)	$\tau_c/\sigma_c$	
上	0.5	15×30	0.15	0.5	8×16	0.14	
	1.0	20×20	0.15				
	1.5	25×17	0.17				
下	2.0	30×15	0.14	1.0	12×12	0.15	
	0.5	15×30	0.14	1.5	12×8	0.16	
	1.0	20×20	0.16				
	1.5	25×17	0.18	2.0	16×8	0.17	
大谷粘土 (I)							
回転機種	D/H	D × H (mm)	$\tau_c/\sigma_c$	三軸ベーン K=1.0			
				D/H	D × H (mm)	$\tau_c/\sigma_c$	
上	0.5	15×30	0.07	0.5	8×16	0.06	
	1.0	20×20	0.06				
	1.5	25×17	0.06	1.0	12×12	0.07	
下	2.0	30×15	0.06	1.5	12×8	0.07	
	0.5	15×30	0.08	2.0	16×8	0.07	
	1.0	20×20	0.06				
	1.5	25×17	0.06	2.0	16×8	0.07	

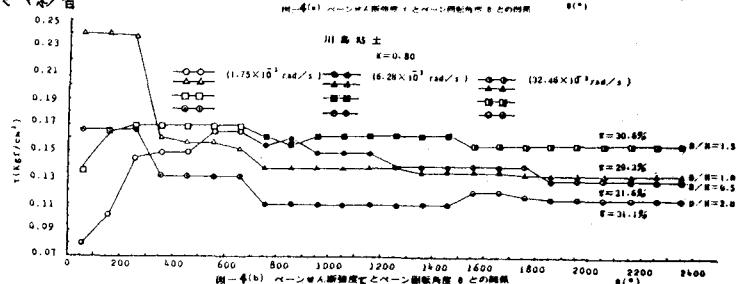
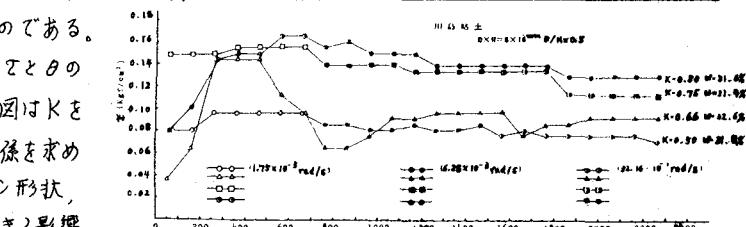


図-4 (a), (b) ベーンせん断強度 $\tau_c$ とベーン回転角度 $\theta$ との関係