

三軸ベーン試験に関するベーン端面上のせん断強度特性について

阿南工業高等専門学校 正会員 ○ 米津 聖

1. まえがき

堆積した地盤内粘土のせん断強度を推定するため、実験室で圧密した圧密粘土を供試体として用い、三軸ベーン試験装置のセル内で地盤内の応力状態を想定して非排水ベーン三軸圧縮試験を行った。三軸セル内の供試体には、軸圧、側圧をそれぞれ変えて等方応力 ($\sigma_1 = \sigma_3$)、圧縮応力 ($\sigma_1 > \sigma_3$)、および伸張応力 ($\sigma_1 < \sigma_3$) の3種類について、Cadling式を変形し、ベーン端面上の応力分布形を推定すると共にせん断強度特性についても研究したものである。

2. 試料および実験方法

本実験に用いた試料は淡路島の瓦焼用粘土である。その物理的性質は表-1の通りである。まず粉碎試料を2000 μ フルイでふるい水を

表-1 土試料の物理的性質

試料名	比 重	液 性			コンシステンシー			日本標準分類	産 地
		液 性 分	塑 性 分	収 縮 分	W _L (%)	W _p (%)	I _p		
細粒粘土	2.77	10.2	53.7	29.6	43.5	22.0	21.5	CL	淡路の瓦焼用粘土

加えてスラリー状態にして円筒形圧密箱に入れ、載荷装置で荷重0.37 kgf/cm²を加えて人工圧密土試料を作成した。人工圧密した土試料をシンワオールサンプリチューブ (内径5 cm、肉厚0.4 mm、長さ1 m) で抜き取る。抜き取った土試料は流動性パラフィンでコーティングし、サランラップに包んで直径12 cm、高さ15 cmの円筒形ブリキ缶に入れ密封保管した三軸ベーン試験のベーン形状寸法は直径D×高さH、ベーン比 (D/H) が8×16 mm, (0.5), 12×12 mm, (1.0), 12×8 mm, (1.5), 16×8 mm, (2.0) を用いている。三軸セル内の鉛直圧 σ_{1c} は土中で受けている土かぶり圧に等しい最大圧密主応力と考え、側液圧 σ_{3c} は土中の水平方向の圧力である最小圧密主応力としている。図-1に示したように三軸セル内の応力状態は伸張応力 $\sigma_{3c} > \sigma_{1c} = 0.1$ kgf/cm², 圧密圧力比 $K = \sigma_{3c} / \sigma_{1c} = 0.5$, 等方応力 $\sigma_{3c} = \sigma_{1c} = 0.2$ kgf/cm², $K = 1.0$, 圧縮応力 $\sigma_{3c} < \sigma_{1c} = 0.4$ kgf/cm², $K = 2.0$ の3種類である。なお、ベーンの回転速度は 1.75×10^{-3} rad/sec としている。

3. 実験結果と考察

応力状態のせん断強度を調べるために、Cadling式 $M = \pi / 2 \cdot H D^2 \tau_v + \pi / 2 \cdot D^3 \alpha \tau_H$ …… (1)

式 (1) を変形して

$2M / \pi \cdot D^2 H = \tau_v + \alpha \tau_H \cdot D / H$ …… (2)

式 (2) に $\tau_v = \tau_H = C$ 、 $\alpha = 1/3$ を代入して用いられるせん断強度の慣用計算式は

$C = M_{max} / \pi D^2 (H/2 + D/6)$ …… (3)

である。さらに式 (2)、式 (3) の中で係数 α の分布形を仮定して求めた計算値を表-2に示している。この表からベーン両端面のせん断強度 (τ_v , τ_H) と式 (3) の慣用計算法で求めた計算値を比較すれば伸張、等方、圧縮応力の3応力状態とも $\tau_v \cong C$ の近似値となり、慣用計算式のせん断強度 C はベーン側面のせん断応力の影響が大きいことが確かめられる。

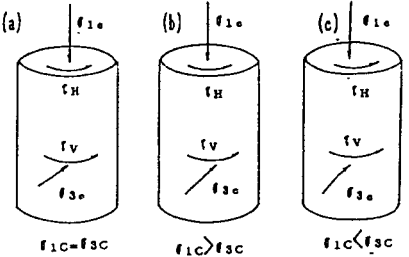


図-1 三軸セル内の応力状態

図-1は三軸セル内のペDESTAL上直径5cm、高さ10cmの供試体をセットし、セツトが完了すれば供試体の底部よりベーンを深さ5cmまで貫入し、負荷をかける。負荷を掛けた後、ベーンを0~360°まで回転させたときの等方、圧縮、伸張の3応力状態のせん断強度について10°毎に測定したもので、図-1(a)等方応力(b)圧縮応力(c)伸張応力で表している。

図-2はベーン比(D/H=1.5)の場合についての3応力状態のベーン回転角(θ)とせん断強度(C)を測定したグラフである。一般に報告されている室内ベーンせん断試験のC~θ曲線ではせん断開始後直ぐにCmaxが生じ、その後、強度は減少する。しかし、本実験では供試体に軸圧と側圧の負荷をそれぞれかけて拘束しているためベーンシャフトにはスキンプリクシヨンの影響もあると考えられる。3応力状態ともCmaxが生じているのはθ=330~360°の極めて遅い回転角度で生じている。図からせん断強度について3応力状態を考えてみると、明らかに圧縮(Cmax=0.10kgf/cm²)>等方(Cmax=0.08)>伸張(Cmax=0.07)の傾向があることが分かる。さらに、図-3は図-2から求めたせん断強度(Cmax)とベーン比(D/H)の関係を直線式として図示したものである。片対数グラフ上に縦軸をCmax、横軸をD/Hとして、測定結果をプロットすればベーン比が大きくなればせん断強度値も大きくなり、圧密応力比に関してもK=2.0>K=1.0>k=0.5となる。

図-4は縦軸にベーン両端面(τv, τh)、慣用計算法より求めたベーンせん断強度(C)と横軸に側液圧σsで表したグラフである。表-2からτv, τh, Cの関係について調べてみると、式(3)の慣用計算法では係数α=1/3(長方形分布)、τv=τh=Cと仮定して計算している。せん断強度Cについて平均値を比較してみると圧縮応力(K=2.0)>等方応力(K=1.0)>伸張応力(K=0.5)となる。同様に、ベーン上、下両端面(τh)について平均値を比較すれば等方応力(K=1.0)>伸張応力(K=0.5)>圧縮応力(K=2.0)となる。ベーン側面(τv)では、圧縮応力(K=2.0)>伸張応力(K=0.5)>等方応力(K=1.0)である。その結果、グラフ上において式(3)から求めたτv=τh=Cの直線と式(2)から求めたベーン側面(τv)をプロットした点を結んだ直線とは良く合致している。

表-2 三軸ベーン試験によるベーン端面上のせん断強度についての測定結果表

圧密応力比 $K = \sigma_3 c / \sigma_1 c$	θ	τ_v / τ_h	τ_v	τ_h	$\tau_v = \tau_h = C$
$K=0.5$	1/3	0.23	0.03	0.14	0.03
	0.3	0.18	0.03	0.15	
	1/4	0.18	0.03	0.18	
	平均値	0.20	0.03	0.16	
$K=1.0$	1/3	0.07	0.01	0.18	0.04
	0.3	0.06	0.01	0.20	
	1/4	0.05	0.01	0.24	
	平均値	0.06	0.01	0.21	
$K=2.0$	1/3	0.40	0.04	0.10	0.05
	0.3	0.33	0.04	0.11	
	1/4	0.28	0.04	0.13	
	平均値	0.33	0.04	0.11	

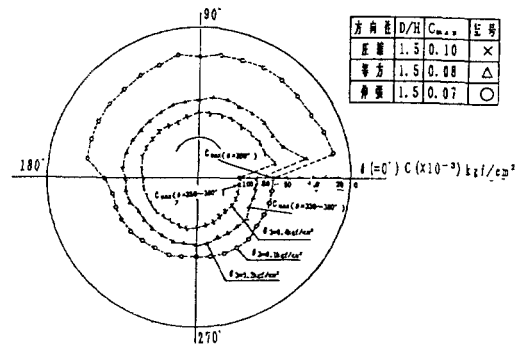


図-2 3応力状態のベーン回転角(θ)とせん断強度(C)との関係 (ベーン比D/H=1.5の場合について)

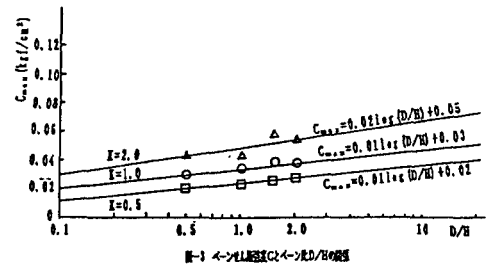


図-3 ベーンせん断強度Cとベーン比D/Hの関係

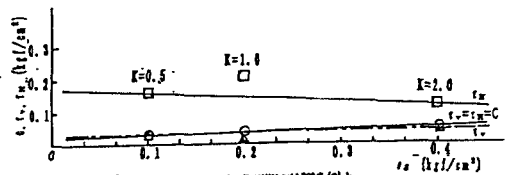


図-4 ベーン両端面(τv, τh)、慣用計算法のせん断強度(C)と、側液圧σsの関係