

ベーン試験に関する2,3の考察

京都大学工学部 正員 柴田 徹

京都大学工学部 正員 田河勝一

主としてベーン三軸試験機を用いて、ベーン試験結果の意味についての実験的研究を続けているが、現在までに判明した2,3の問題を以下に報告する。

1. 圧縮と伸張状態におけるベーン強度 ベーンせん断試験における円筒形側面上のせん断強度 τ_v と上下両端面のせん断強度 τ_H を測定する試みは、粘土のせん断強度の異方向性の調査と相まって興味があり、既に若干の報告がなされている。ここでは粘土供試体に等方並心圧力（圧縮と伸張）を加えて圧密したのち、これらの載荷応力を変えずにベーン試験を実施して τ_v と τ_H の特性を調べた。すなわち図-1に示すように、軸方向応力 σ_a と側方応力 σ_r の組合せが3種類に変えてある。圧密応力比 $K = \sigma_r / \sigma_a = 1.79$ の場合は伸張状態であるので、 σ_a をコントロールするために特殊な装置を使用した。このような三軸応力状態で圧密完了後にベーン試験を実施し、 τ_v と τ_H を分離するためにベーンの中と粘土の比 D/H を3~4種類変えて、次式を用いる。

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

ここに $M_{\max}$: 最大モーメント、 α : 端面におけるせん断応力分布形によって決まる係数、 D : ベーンの中、 H : ベーンの高さ、 τ_H, τ_v : 水平面、鉛直面上の最大せん断応力、

式(1)より測定結果を $\frac{2M_{\max}}{\pi D^2 H} \sim D/H$ 関係にプロットし、たて軸の切片長さより τ_v を、また直線の傾斜より $\alpha \tau_H$ を求めることができる。図-2は表-1に示される試料No.1 (Kaolin) についての試験結果を式(1)に従って整理したものであり、図中の記号はデータの散らばりの範囲と平均値を示している。また図-2より求める $\tau_v, \alpha \tau_H$ および α を仮定することによって決まる τ_H を表-2に一括して示す。これらの結果から判明することは、まず3つのケースとも圧密最大主応力は 1.0 kg/cm^2 であり、破壊時の含水比(%)は近似的に等しいとみられ、 $\alpha = 1/4$ と仮定すれば $K = 1.0$ の

試料	粘土%	LL %	PL %	PI %
No.1	88	61.6	34.3	27.3
No.2	42	32.5	20.5	12.0
No.3	32	36.0	25.6	10.4

表-1

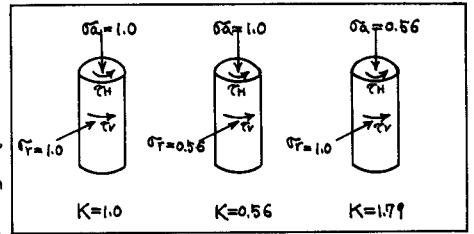


図-1

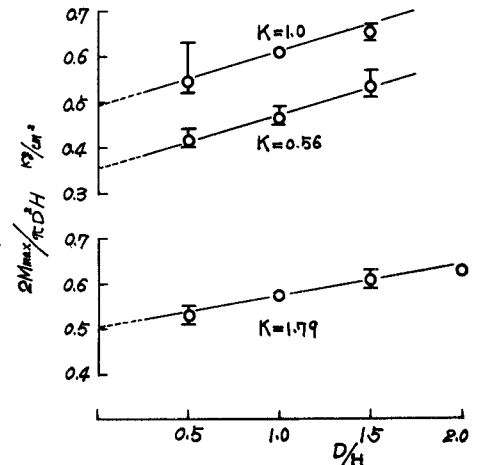


図-2

応力比 K	含水比 $w\%$	$\tau_v \text{ kg/cm}^2$	$\alpha \tau_H \text{ kg/cm}^2$	$\tau_H \text{ kg/cm}^2$		
				$\alpha = 1/3$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 1/4$
1.0	43.8 ~ 45.2	0.5	0.12	0.47	0.48	0.49
0.56		0.35	0.12	0.36	0.40	0.48
1.79		0.5	0.08	0.24	0.27	0.32

表-2

τ_v , $K=0.56$ の τ_H , と $K=1.79$ の τ_v はほぼ等しい, このことは τ_v に関しては σ_v (これがせん断中の中間主応力になる) は異なるが, せん断面上の垂直応力 σ_r が 1.0 kg/cm^2 で等しいためと考えられる。つぎに $\alpha=1/4$ と仮定すれば $K=0.56$ の τ_v と $K=1.79$ の τ_H がほぼ等しいとみなせる。 τ_H に関してはせん断機構が複雑で不明であるが, せん断抵抗が最大に発揮されるような状態では, せん断面上の垂直応力が等しければ, $\tau_v \approx \tau_H$ としてよい。

2. バーン強度と変位 式(1)の誘導過程から, 任意の角変位 ω が生じたとき測定モーメント M_w は, バーン側面と端面で発揮されるモーメント M_{vw} , M_{hw} の和となることかわかる。

$$M_w = M_{vw} + M_{hw} = \frac{\pi}{2} D^3 H (\tau_{vw} + \alpha \frac{D}{H} \tau_{hw}) \quad (2)$$

ゆえに各々の角変位ごとに図-2のように整理を行なえば, τ_{vw} , τ_{hw} を分離して求めることができる。図-3は試料No.2を用いて行なわれた, バーン三軸 $CI(C)$ 試験 ($\sigma_c = 1 \text{ kg/cm}^2$) の結果を解析したものである。点線の曲線は式(2)中 $\tau_{vw} = \tau_{hw} = \tau$ においてえられる慣用式を用いて求められた τ の関係を示している。図から明らかなように τ_v と τ_H は全く異なった曲線を描き, ピークにたいする角変位が異なるばかりでなく, 大きさも異なっている。側面と端面で発揮されるせん断応力は, 端面の複雑なせん断機構のために M が最大になるとき同時に $\tau_{vmax} = \tau_{Hmax}$ にならない, そのために H によって τ_{max} にたいする ω が異なってくると考えられる。しかしてのピーク付近で τ_v, τ_H が一致するということは, せん断強度が最大に発揮される状態においては $\tau_v = \tau_H$ において解析することが許される。

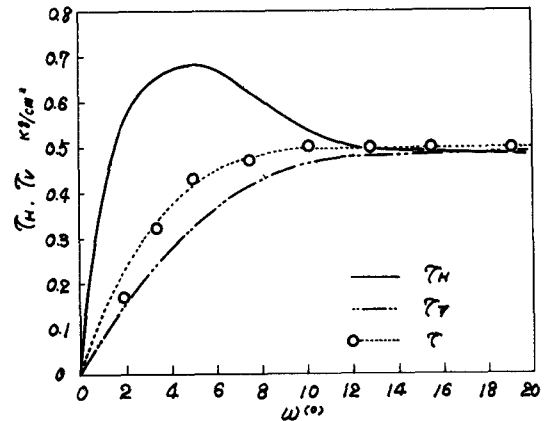


図-3

3. 他のせん断強度との比較 図-4(a)は試料No.2についてバーン三軸せん断と定体積直接せん断強度を比較したものである。(b)は試料No.3についてバーン三軸せん断と三軸スライス, 三軸圧縮および一面せん断試験(非排水の定荷重方式)によるせん断強度を比較したものである。図の結果によるとバーン三軸 $CI(U)$ 試験によるせん断強度は工の種類によって排水強度に近い値を測定したり, 非排水強度に近い値を測定していることになる。工の種類によってはバーン三軸せん断によるせん断強度 τ は σ'_c と σ'_{cu} の間にプロットされるであろう。

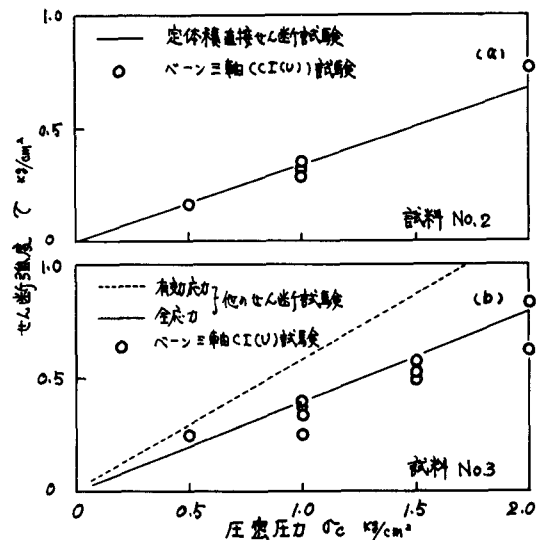


図-4

1) 篠田 1967: 粘土のバーンせん断強度に関する研究 土木学会論文集 No.128, February 1967 PP29~49
 * $CI(C)$: Isotropically-Consolidated (Consolidated) の略で (C) 内はバーン入による圧縮を許すことを意味する。