

ベーンせん断強度の異方性

福山大学 工学部

福山大学 大学院

荒谷建設コンサルタント(株)

京都府庁

正 西原 晃

学〇野村和智

岩本啓志

瀬野智之

1. はじめに

ベーンせん断試験は、軟弱地盤の非排水強度を原位置で簡便に測定する方法として広く用いられているが、近年になって、非排水状態における粘土の特性が明らかになるにつれていくつかの問題点が生じてきた。問題点の一つとして粘土の強度異方性の影響があると指摘されている。ベーン試験では、図-1に示すように円筒形の側面と上下端面の二種類のせん断面がある。異方圧密された粘土の非排水せん断強度はせん断面によって異なる。したがって、ベーンの円筒形の側面と上下端面のそれぞれの面で発揮されているせん断強度は異なるため、ベーンせん断試験そのものが異方性の影響を強く受けている。そこで、本研究では、圧密応力を変化させた三軸ベーンせん断試験を行い、ベーン試験における強度異方性の影響について調べた。

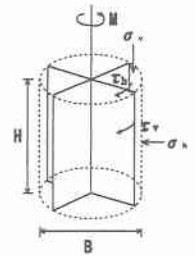


図-1 ベーン

2. 実験概要

実験に用いた試料は、広島県尾道市で採取されイ草染め土として市販されている粉末のシルト質粘土、カオリンの粉末試料で、両試料は、水を加えて練り返し、圧密した試料である。試料の諸特性を表-1に示す。

表-1 試料の特性

試料名	尾道染土	カオリン
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.631	2.603
液性限界 WL(%)	34.6	81.3
塑性限界 WP(%)	16.6	35.9
塑性指数 PI(%)	18.0	45.4
圧密係数 $C_v(\text{cm}^2/\text{d})$	230	238
透水係数 $k(\text{cm/d})$	4.2×10^{-4}	1.4×10^{-7}
圧縮指数 C_c	0.167	0.342
膨潤指数 C_s	0.007	0.046
内部摩擦角 $\phi'(\text{deg.})$	25-33	11.5-23.5
静止土圧係数 K_0	0.41-0.50	0.52

三軸ベーンせん断試験は、今回新しく三軸試験装置を製作し、この試験では、等方圧密(ICV試験)と K_0 圧密(KC V試験)の二種類の試験を行った。 K_0 圧密は、試料の断面積が圧密過程を通じて不変に保たれるように圧密応力比($K = \sigma_{hc}/\sigma_{vc}$)を調節して行った。圧密が完了すると、幅(B)10mm, 高さ(H)5mm, 10mm, 15mm, 20mmのベーンを試料底部から中央部まで貫入し、実験を行った。この実験では、全て基準速度0.10(deg./sec)で行った。

3. 実験結果

自然堆積粘土地盤では、鉛直方向の圧密応力(σ'_{vc})と水平方向の圧密応力(σ'_{hc})が異なる。ゆえにこのような異方圧密をうけている粘土地盤中においてベーン試験を実施すると、ベーンの上下端面と円筒形の側面とではそれらの面に作用する垂直応力が異なるために、測定されたせん断強度に差が生じることがAas¹⁾をはじめ、数多くの研究者によって指摘されている。柴田^{2) 3)}は、三軸室内で異方圧密した粘土を用いて三軸ベーン試験を行い、 τ_v, τ_h の比が圧密時の鉛直方向と水平方向の応力比と密接な関係があることを示した。さらに柴田は、 τ_v, τ_h の強度比を塑性指数に対しプロットし、 τ_v/τ_h と塑性指数の関係が K_0 と塑性指数の関係に似ていることを指摘している。このせん断強度の差を生む要因として、まず自然堆積粘土が有する初期異方圧密にともなう強度異方性が考えられた。次に側面と端面での排水条件の差異が考えられた。実際にはこれらが重なり合って、強度差を生むと考えられている。

図-2は、今回行った三軸ベーン試験結果と過去報告されている実験結果を強度比 τ_v/τ_h と圧密応力比 $K = \sigma'_{hc}/\sigma'_{vc}$ の関係でプロットしたものである。地盤が均質で、鉛直方向と水平方向の圧密応力が等しい場合には、破壊までの応力変化ならびに過剰間隙水圧の発生量も鉛直方向と水平方向で等しいと考えられる。したがって、鉛直側面と上下水平面における破壊時の有効応力そしてせん断強度が等しくなる。図からも圧密応力比が1に近づくにつれて、 τ_v/τ_h も1に近づく傾向がみられる。しかし、今回の実験では等方圧密で

も τ_v と τ_h が異なった値となった。この原因として、今回用いた尾道染土の圧密係数が大きいこと、基準速度(0.1deg./sec)でも部分排水の影響が現れたためと考えられる。ベーン周辺での部分排水の影響に関しては、杉江ら⁴⁾が有限要素法を用いて解析をしており、上下水平面における間隙水圧の消散が鉛直側面より大きいという結果を示している。したがって、上下水平面における間隙水圧の消散が鉛直側面より大きいとすれば、結果として、上下水平面の有効垂直応力が大きくなり、 $\tau_v > \tau_h$ となったものと考えられる。また、上下水平面における強度は、一面せん断試験によって求められた排水強度に近い値となった。このように、1CV(等方圧密)試験結果における強度異方性の主原因が部分排水と考えると試料によってはその影響はかなり大きいものと推測できる。

図-3は、過去に報告されている実験結果ならびに今回実施した三軸ベーンせん断試験と室内標準ベーンせん断試験の結果から、基準回転速度0.10(deg./sec)における強度比 τ_v/τ_h と塑性指数の関係を示したものである。図をみれば、全体的にかなりばらつきがみられるが、 τ_v/τ_h は0.5程度から、塑性指数が大きくなるにつれて1に近づいていく傾向がみられる。

図-4は K_0 と塑性指数の関係を示したもので、静止土圧係数 K_0 も強度比 τ_v/τ_h と同様に塑性指数とともに大きくなる傾向がみられる。したがって、図-3、図-4からも、強度比 τ_v/τ_h は静止土圧係数 K_0 と密接な関係があることが分かる。

4. おわりに

本研究では、室内ベーン試験結果をもとに強度異方性の影響について考察した。

今回の三軸ベーンせん断試験の結果より、ベーンの鉛直側面と上下水平面における強度異方性には、圧密応力だけでなく、部分排水の影響も強く受けていることがわかった。

また、ベーンの強度比 τ_v/τ_h と、圧密応力、塑性指数の三者の間には密接な関係があると考えられる。低塑性粘土の場合には、粘着成分の影響が小さいため、ベーンの強度比 τ_v/τ_h は圧密応力比の影響を直接受けるが、部分排水の影響も大きい。また、高塑性粘土の場合には、部分排水の影響は小さいが、粘着成分の影響が大きいこと、圧密応力比が小さくても、強度比は1に近くなるものと考えられる。以上の結果から、三軸ベーンせん断試験を進めていくにあたって、部分排水がおよぼす強度への影響を検討することが課題であると考えられる。

参考文献

- 1) Aas, G. (1965): "A study of the effect of vane shape and rate of strain of the measured values of in-situ shear strength of clay," proc. 6th ICSMFE, pp. 141-145
- 2) 柴田徹(1966): "原位置ベーンせん断試験結果の意味," 第11回土質工学発表論文集, pp. 105-110
- 3) 柴田徹(1967): "粘土のベーンせん断強度に関する研究," 土木学会論文報告集, 第138号, pp. 39-48
- 4) 杉江・飯塚・太田(1994): "粘土地盤におけるベーンせん断強度の発現メカニズム," 土木学会論文集, 第487号, pp. 227-236

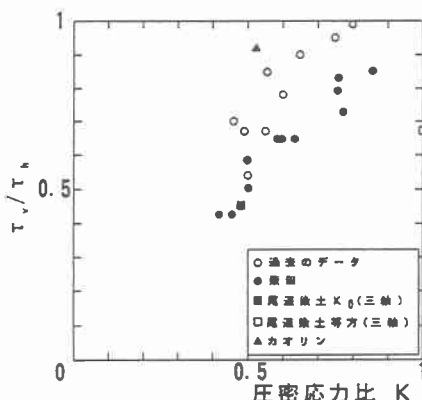


図-2 τ_v/τ_h と圧密応力比の関係

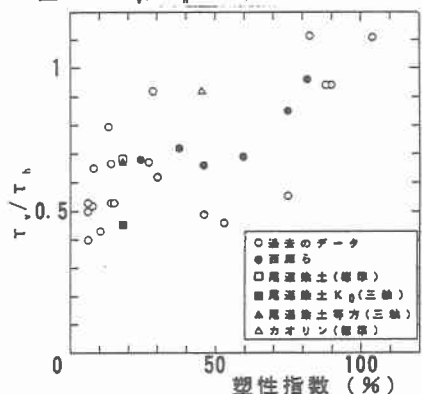


図-3 τ_v/τ_h と塑性指数の関係

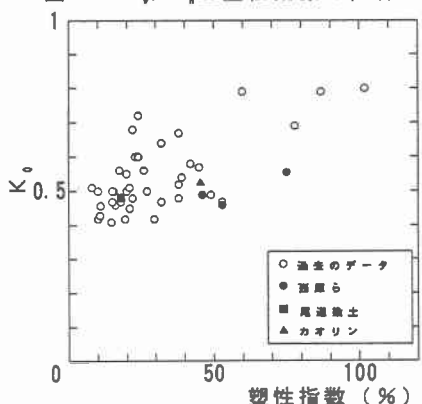


図-4 K_0 と塑性指数の関係