

室内小型ベーンせん断試験におけるせん断強度の検討

信州大学大学院 学○安場宏明

信州大学工学部 正 梅崎健夫, 正 河村 隆

1. はじめに 室内小型ベーンせん断試験は、サンプラー内の試料に直接実施できるため、供試体の抜き出しや成形にともなう乱れの影響が小さく、原位置におけるせん断強度を比較的簡単に迅速に得ることができる試験である。欧米ではその試験方法がすでに基準化されている^{1),2)}が、我が国においてははまだ基準化されていない。本文では、室内小型ベーンせん断試験と別途、一軸圧縮試験および一面せん断試験を実施し、得られた非排水せん断強度を比較・検討した。また、その結果に基づいて、ベーン挿入深さについても検討した。

2. 試験概要

2.1 試験装置 図-1 に試験装置の概略を示す。本装置はシンウォールサンプラー(内径 $\phi=75\text{mm}$)および別途作製した圧密容器($\phi=75\text{mm}$, 高さ $h=500\text{mm}$)が設置できるようになっており、原位置で採取した試料および室内で再構成した試料を直接供したいとしてベーンせん断試験を実施することができる。種々の寸法のベーンを用いることもできる。ベーンは単管のロッド(直径 $d=6\text{mm}$)に接続されており、ロッドは治具を用いて常に鉛直を保たれている。ベーンの回転速度 $\dot{\theta}$ は $0.6\sim 8^\circ/\text{min}$ まで調整できる。本装置はロッドを前後にスライドさせることが可能であり、同一の供試体においてロッドの周面摩擦を別途測定することができる。さらに、試料抜き出し用のピストンが設置されており、抜き出した部分を別途他の試験の試料として用いることもできる。少しずつカットすることにより深度の異なる供試体に対して同一のベーン挿入深さの試験を実施することができる。

2.2 試験方法および試験条件 液性限界 w_L の約2倍の含水比で練返したNSF(B)粘土(土粒子密度 $\rho_s=2.726\text{ g/cm}^3$, $w_L=73.9\%$, 塑性指数 $I_p=40.8$)を圧密容器($\phi=75\text{mm}$, $h=500\text{mm}$)内において、圧密圧力を段階的に 196kN/m^2 まで载荷し一次元的に4日間圧密したものを供試体($d=75\text{mm}$, $h=140\sim 143\text{mm}$)とした。圧密終了後、図-1に示すように圧密容器ごと試験装置に設置し、小型ベーン($d=10\text{mm}$, $h=20\text{mm}$)を用いてベーンせん断試験を供試体横断面の中心部分で実施した。試験中における含水比の低下を防ぐために、供試体表面をメンブレンにより被覆した。ベーンの挿入深さ $D_f(=2h\sim 4h, 40\sim 80\text{mm})$ に相当の異なる5ケースを実施した。ここで D_f は供試体表面からベーン先端までの深さと定義した¹⁾。ベーン回転速度は $\dot{\theta}=6^\circ/\text{min}$ とし、 $\theta=60^\circ$ まで試験を実施した。ベーンせん断試験を実施する前に、ロッドの周面摩擦の影響を考慮するために、供試体の周面から 15mm の位置(図-2参照)で、ロッドをベーンと同じ深さまで挿入し、そのときのロッドのトルクを測定した。試験終了後は、直に供試体を抜き出し含水比測定を行った。一方、ASTM, D 4648-00¹⁾の室内小型ベーンせん断試験基準によれば、ベーン挿入深さは $D_f\geq 2h$ 、ベーン回転速度は $\dot{\theta}=60\sim 90^\circ/\text{min}$ である。また、ベーン寸法は $d=12.7\sim 25.4\text{mm}$, $h=2d$ を推奨しており、ベーンの側端から供試体周面(圧密容器内壁)の間隔は $2d$ 以上必要であると定めている。これは円形供試体の場合、 $5d$ 以上の供試体直径が必要であることを意味している。本文の供試体直径は $7.5d$ である。ただし、本文の $\dot{\theta}$ については、検討の余地が残されている。なお、ASTM, D 2573-01³⁾の原位置ベーンせん断試験基準においては $\dot{\theta}=3\sim 12^\circ/\text{min}$ と定めている。

3. 試験結果および考察 図-2に トルク T と回転角 θ の関係の一例を示す。ロッドのトルクはベーン+ロッドのトルクの3~4割程度である。ベーン+ロッドのトルクのみから算定したベーンせん断応力を τ_0 、ロッドの周面

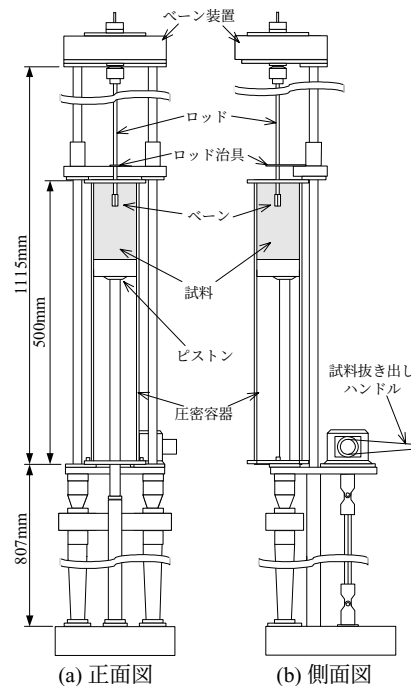
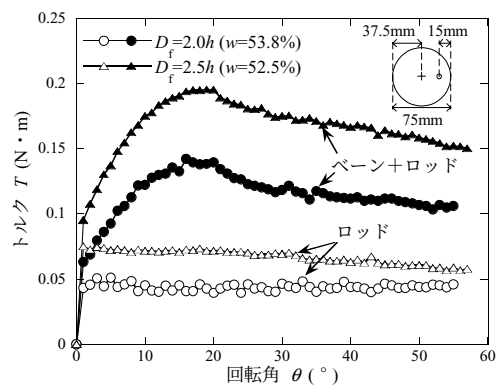
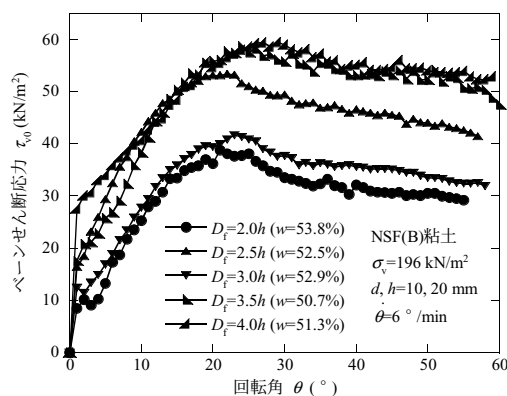


図-1 試験装置の概略

図-2 T と θ の関係の一例

キーワード：ベーンせん断試験，試験方法，粘土，非排水せん断強度，挿入深さ，含水比

連絡先：長野市若里 4-17-1, TEL&FAX:026-269-5291

図-3 τ_0 と θ の関係

摩擦を考慮して算定したベーンせん断応力を τ_{v1} として整理する。

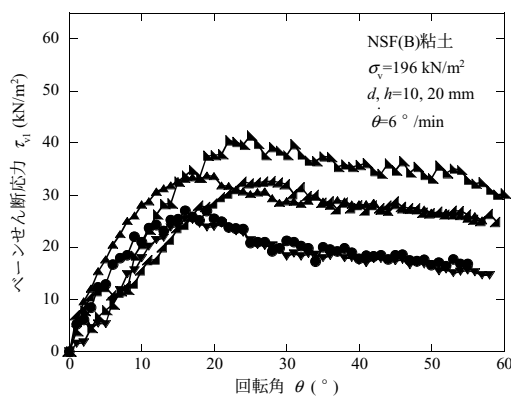
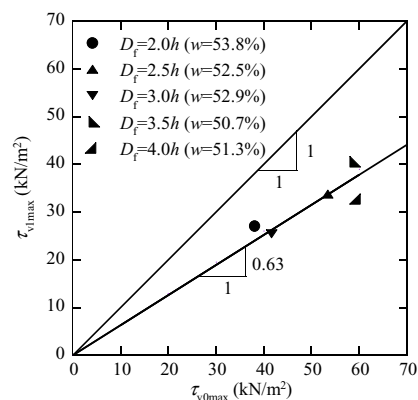
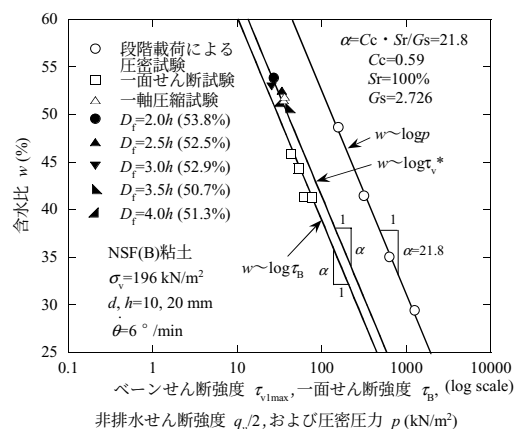
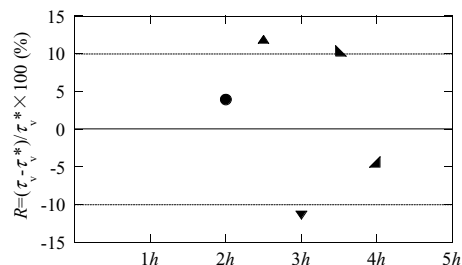
図-3 に τ_0 と θ の関係を図-4 に τ_{v1} と θ の関係をそれぞれ示す。同一の圧密圧力にも関わらず、 τ_0 、 $\tau_{v1} \sim \theta$ 関係が異なるのは圧密後の供試体の含水比が異なるためである。すなわち、圧密容器の高さが直径と比較して大きいので圧密時の周面摩擦により均一な供試体を作製することが困難であるためである。 τ_0 および τ_{v1} の最大値をそれぞれベーンせん断強度 τ_{0max} および τ_{v1max} と定義し、両者の関係を図-5 に示す。供試体の含水比は異なっているが、両者はほぼ $\tau_{v1max} = 0.63 \tau_{0max}$ の関係にある。すなわち、ロッドの周面摩擦の影響が大きく、ベーンせん断強度は τ_{v1max} を用いて評価すべきである。

図-6 に含水比 w と τ_{v1max} 、定体積一面せん断試験から得られた一面せん断強度 τ_B 、一軸圧縮試験から得られた非排水せん断強度 $q_u/2$ および段階载荷による圧密試験から得られた正規圧密状態の圧密圧力 p の関係を示す。 τ_{v1max} は $q_u/2$ とほぼ等しく、また、 τ_{v1max} は τ_B の 1.2~1.5 倍程度である。このことについては、 $\dot{\theta}$ の影響を検討する必要がある。田中ら⁴⁾はベーンせん断強度は $q_u/2$ の 0.9~1.3 倍程度であると報告している。また、 $w \sim \log \tau_{v1max}$ 関係は、 $w \sim \log \tau_B$ 関係と同様に $w \sim \log p$ 関係と平行になる。 τ_{v1max} の平均値として $w \sim \log \tau_v^*$ 関係を決定した。

図-7 に $R = (\tau_{v1max} - \tau_v^*) / \tau_v^* \times 100\%$ と D_f の関係を示す。 τ_{v1max} は含水比の影響を直接受けるので、 R として含水比の影響を除くことによって D_f の影響を検討する。 R は $\pm 10\%$ 程度のばらつきを有しており、本文における τ_{v1max} の精度はこの程度である。また、 $D_f \geq 2h$ の場合においては、 D_f が異なることに対する有意な差は認められない。一方、田中ら⁴⁾は $D_f = 2h \sim 4h$ においてほぼ一致した結果を得ている。

4. まとめ 本文から得られた主な知見は以下のとおりである。(1) ロッドの周面摩擦の影響は大きく、ベーンせん断強度を算定する際にこの影響を考慮する必要がある。(2) 室内小型ベーンせん断試験から得られるベーンせん断強度は、一軸圧縮試験から得られる非排水せん断強度とほぼ等しいが、一面せん断試験から得られる非排水せん断強度の 1.2~1.5 倍程度である。ただし、このことについては、 $\dot{\theta}$ の影響を検討する必要がある。(3) ベーン挿入深さがベーン高さの 2 倍以上の場合には、ベーンせん断強度に及ぼすベーン挿入深さの有意な影響は認められない。

【参考文献】1) ASTM: D 4648-00. Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil, American Society for Testing and Materials, 2000. 2) BSI: Determination of shear strength by laboratory vane method, Draft British standard BS 1377 methods of test for soil for civil engineering purposes, Part 7 shear strength tests (Total stress), 1989. 3) ASTM: D 2573-01. Standard Test Method for Field Vane Shear Test in cohesive Soil, American Society for Testing and Materials, 2001. 4) 田中洋行・田中政典：ベーンせん断試験による粘性土地盤の強度決定法，運輸省港湾技術研究所報告，第 33 巻，第 4 号，1994。

図-4 τ_{v1} と θ の関係図-5 τ_{v1max} と τ_{0max} の関係図-6 w と τ_{v1max} 、 τ_B 、 $q_u/2$ および p の関係図-7 R と D_f の関係