

論文

リングせん断試験による高有機質土のせん断特性

高橋貴之*・荻野俊寛*

Shear Characteristics of Highly Organic Soil Obtained by Ring Shear Tests

Takayuki Takahashi* and Toshihiro Ogino*

Abstract

In this paper, two types of direct shear tests; direct shear box test and ring shear test, are performed in constant volume or constant pressure condition on highly organic soil or clayey soil in order to evaluate their strength characteristics. Strength characteristics from these tests are compared with results of other tests such as triaxial compression tests and effects on strength characteristics due to test method or shear condition are discussed. In the results of the series of these tests, it is shown that these kinds of direct shear tests can contribute to obtain proper value of strength characteristics for highly organic soil and are enough effective in not only clayey soil but also highly organic soil.

1. はじめに

一般に室内試験から土のせん断強度を求める場合, 主に一軸圧縮試験や三軸試験が用いられる. しかし, これらの試験を高有機質土に対して行った場合, しばしば試験中に脱水が生じる, 排水条件のコントロールが困難である, 供試体断面積の算定が難しい等の要素試験としての問題点も指摘されており, 粘土の場合ほどその有効性を発揮しているとは言い難いように思われる. このような問題点が指摘されながらも高有機質土に対して一軸圧縮試験や三軸試験が行われてきた理由の一つとして, 他の試験方法に対しての基準が設けられていなかったことがあげられる.

しかし, 1997年に新たに一面せん断試験についても基準が設けられ⁽¹⁾, これによって今後, 状況に応じた試験の摘要が必要とされることとなる. そこで今回は高有機質土に対してリングせん断試験や一面せん断試験といった, いわゆるせん断応力载荷型試験を行い, 粘土に対して行った場合と比較してせん断応力载荷型試験の有効性について検討する.

2. 実験

2.1 試料

試料は秋田市内で深度約1mより採取された高有機質土を含水比約500%になるように蒸留水を加えて練り返し, ペースト状にしたものを用いている. 試料の物性値は密度 $\rho_s=1.64\text{g/cm}^3$, 強熱減量 $L_{ig}=76.5\%$, 分解度 $H=75.5\%$ であり, 比較的繊維質の少ない, 分解の進んだ試料である. また, 対照実験で用いた粘土試料には市販の粉末粘土を液性限界の2倍程度の含水比になるよう蒸留水を加えて練り返し, ペースト状にしたものを用いている. 粘土の物性値は $\rho_s=2.72\text{g/cm}^3$, 液性限界 $w_L=70\%$, 塑性指数 $I_p=62$ である.

2.2 実験装置

リングせん断試験装置の概略をFig.1に示す. モールドの寸法は外径120mm, 内径60mm, 高さ120mm(上部モールド80mm, 下部モールド20mm)となっており, このモールドに試料を入れて圧密し供試体を作成する. 作成した供試体をせん断する際には下部モールドが回転するような構造になっている. 垂直応力, せん断応力はACサーボモータによる変位制御で制御されるが, フィードバック制御によって応力による制御も可能としており, 定体積, 定圧せん断の他, 载荷速度一定, 応力一定などの制御もすることができる. また, 上下モールドの隙間の調整もACサーボモータによって行われ, 0~5mm

2002年7月22日受理

*秋田大学工学資源学部土木環境工学科.

Department of Civil and Environmental Engineering,
Faculty of Engineering and Resource Science, Akita
University.

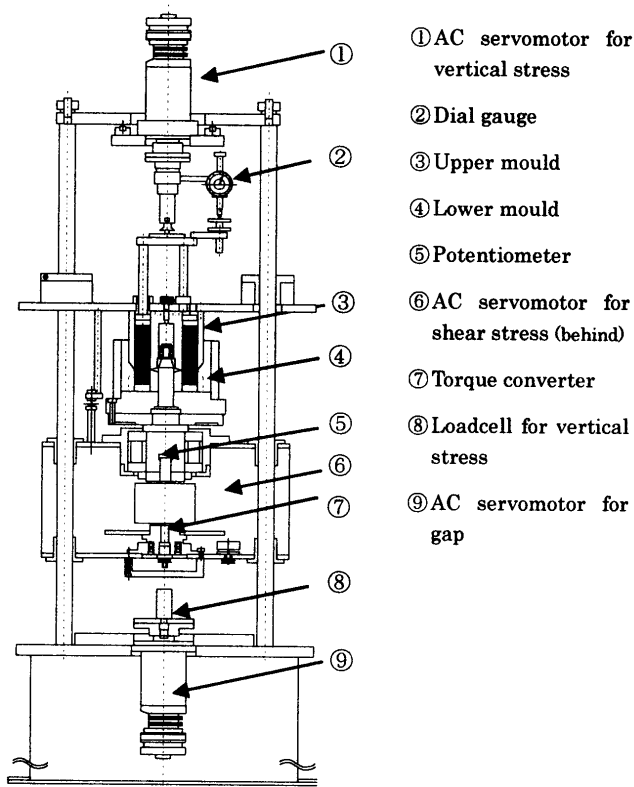


Fig.1 An illustration of ring shear apparatus.

の範囲で 0.001mm の精度で調節することができ、本研究では上下モールドのすき間を 0.2mm と設定してせん断を行っている。

2.3 実験方法

両試験ともペースト状の試料をモールド（せん断箱）に入れ、所定の圧密応力 ($\sigma_{v0}'=20,40,60,80\text{kPa}$ 、ただし粘土は 40,60,80kPa) で 48 時間圧密する。その後、せん断速度 0.1mm/min でリングせん断試験は回転角度 150° まで、一面せん断試験は 11mm までせん断する。以上の試験を定圧、定体積の各せん断条件で行う。

3. 実験結果および考察

3.1 リングせん断試験と一面せん断試験の比較

3.1.1 定体積せん断試験

Fig.2, Fig.3 にそれぞれ高有機質土と粘土について両試験の定体積条件におけるせん断応力 τ とせん断変位 d の関係を、また、Fig.4, Fig.5 にはそれぞれ高有機質土と粘土における応力経路図を示す。Fig.3, Fig.5 から、粘土試料については両試験から得られる値にはほとんど差はなくリングせん断試験と一面せん断試験のせん断モードは近いものと考えられる。これに対し、高有機質土の両試験に対する結果について Fig.2 の $\tau-d$ 関係を見るとリングせん断試験で

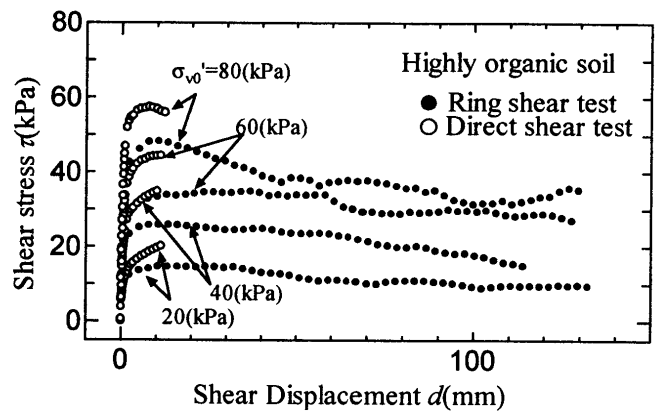


Fig.2 Relationship between shear stress τ and shear displacement d on constant volume test (Highly organic soil).

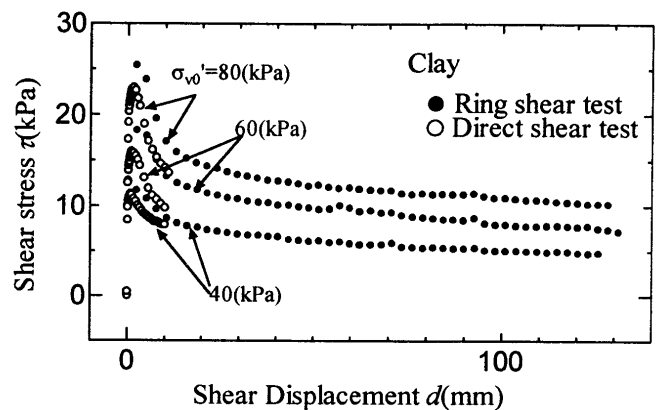


Fig.3 Relationship between shear stress τ and shear displacement d on constant volume test (Clay).

は $d=10\text{mm}$ 付近でピークを示した後 τ が減少する、ひずみ軟化挙動を示すのに対し、一面せん断試験では一部このような結果が確認できるものもあるが、全体的にはこのような傾向は認められず両試験における $\tau-d$ 関係の形状は異なっている。また、同一 σ_{v0} でみると全体的に一面せん断試験のほうが大きな τ を示すようである。Fig.3 の粘土に対する両試験結果から、リングせん断試験、一面せん断試験ともにひずみ軟化挙動を示しており、そのピークは $d=3\text{mm}$ 付近である。また、同一 σ_{v0} における τ の値もほぼ等しく試験方法による差はほとんど見られない。Fig.4 の応力経路図では一面せん断試験の方がリングせん断試験よりもせん断中の垂直有効応力 σ_v' の減少が少なく上方に直立するような形状になっている。また、一部ではダイレイタンシー性状が逆転し、 σ_v' が増加する傾向が見られる。

このように高有機質土に対しての両試験結果の違いは、せん断方向における供試体端部の有無、すなわち三笠ら⁽²⁾のいう「せん断箱がエンドレスである」か否かという点であると思われる。つまり、リ

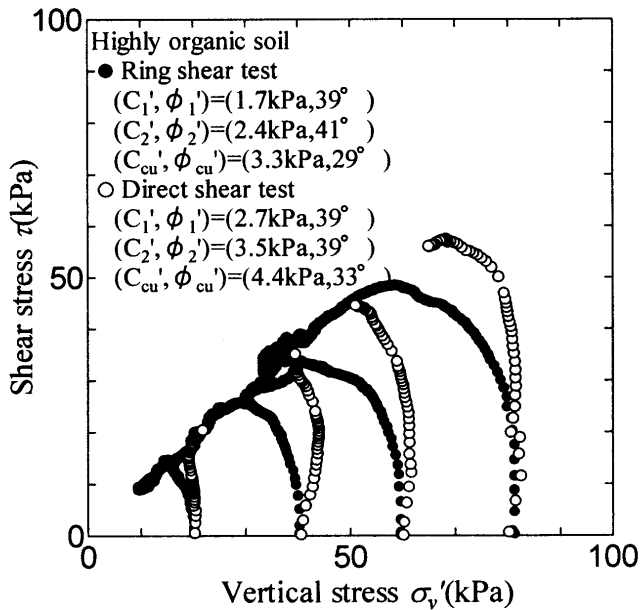


Fig.4 Stress path on constant volume tests (Highly organic soil).

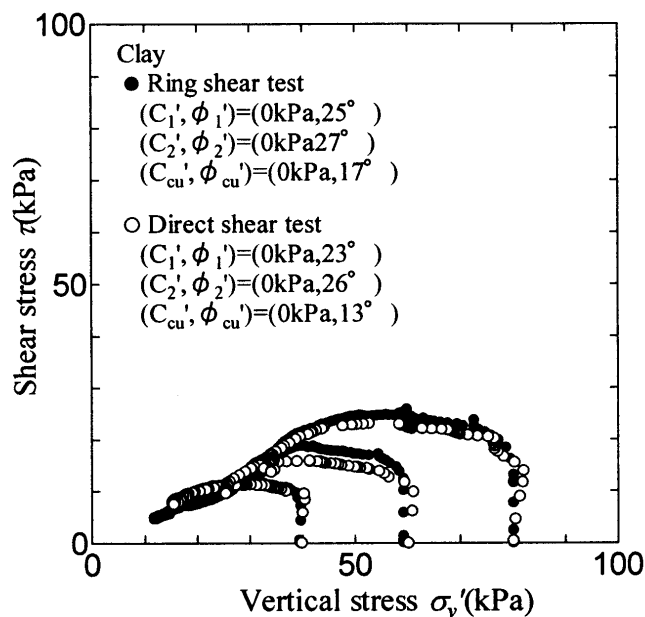


Fig.5 Stress path on constant volume tests (Clay).

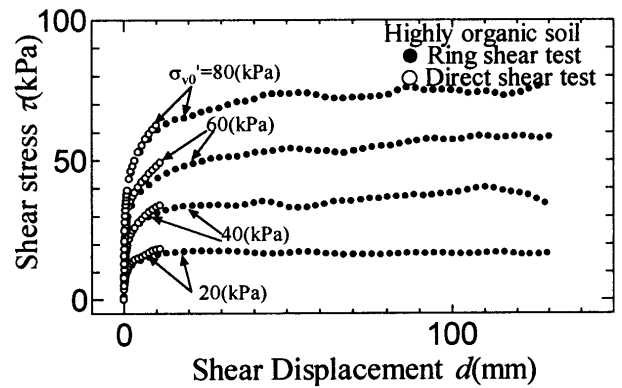


Fig.6 Relationship between shear stress τ and shear displacement d on constant pressure test (Highly organic soil).

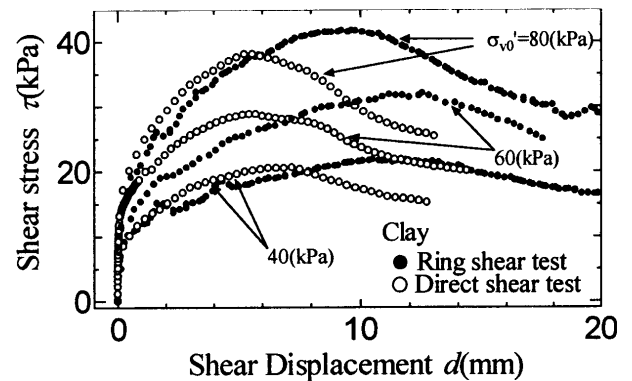


Fig.7 Relationship between shear stress τ and shear displacement d on constant pressure test (Clay).

集中する性質から、せん断箱端部においても、著しい変形の集中が生じていると考えられ、その結果端部拘束による強度増加が他の土に比べ大きく、今回のような結果になったものと思われる。

3.1.2 定圧せん断試験

Fig.6, Fig.7 にそれぞれ高有機質土と粘土について両試験の定圧条件におけるせん断応力 τ とせん断変位 d の関係を示す。Fig.6 から両試験とも d の増加とともに τ も増加するひずみ硬化挙動を示している。このような挙動は一軸圧縮試験や三軸試験でも示すことが多く、高有機質土において典型的な挙動である。Fig.7 では定体積せん断試験の場合と同様に、 τ はピークを示した後減少するひずみ軟化挙動を示している。Fig.8, Fig.9 にはそれぞれ高有機質土と粘土の定圧条件における応力経路図を示す。Fig.8 の高有機質土についてみると全体的にリングせん断試験の方が一面せん断試験よりも上方に位置している。この原因としては、リングせん断試験のほうがせん断打ち切り変位が大きいため、前述のひずみ硬化挙動

ングせん断試験はせん断方向に対して無限の長さを有するのに対し、一面せん断試験では供試体はせん断方向に有限で、その端部はせん断箱によって剛に拘束されている。このことについて通常の土の場合は、端部拘束による強度増加と進行性破壊による強度減少といった二つの要因が互いに相殺することで大きな影響は生じないと解釈されている⁽¹⁾。しかし、高有機質土では、例えば Landva and La Rochelle⁽³⁾ がベーンの刃先などの周辺における「局所的な破壊」を指摘しているように、応力が集中する点に変形が

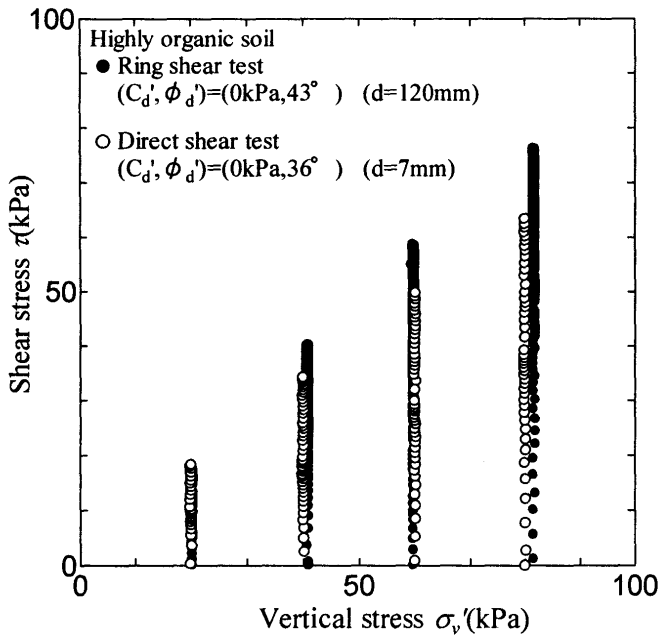


Fig. 8 Stress path on constant pressure tests (Highly organic soil).

により d の増加とともに τ も増加するのでこのような結果が得られたと思われる。つまり、これは両試験のせん断打ち切り変位が応力経路に影響を及ぼすことを意味している。粘土については Fig. 7 でいずれの試験も τ はピークを示しているためせん断打ち切り変位による影響はなく、Fig. 9 の応力経路図では両試験ともに大きな差はない。

3.2 強度定数の検討

Coulomb の破壊基準より、Fig. 4 の高有機質土の定体積試験の全応力に基づく強度定数 (c_{cu} , ϕ_{cu}) はリングせん断試験、一面せん断試験でそれぞれ (3.3 kPa, 29°), (4.4 kPa, 33°) となり、応力経路の形状は異なったが両試験による値の差は小さいものとなった。また、Fig. 5 の粘土の ϕ_{cu} に比べるとかなり大きな値を示しているが、高有機質土の非排水強度増加率が粘土よりも大きな値を示すことは、三軸試験では従来からいわれており、例えば対馬ら⁽⁴⁾は 0.52~0.54 の値を報告している。このほかに Fig. 4 には、両試験の定体積せん断試験におけるせん断力最大 (τ_{max}) 時で定義した c_1' , ϕ_1' およびせん断応力比最大 ($(\tau/\sigma_v')_{max}$) 時で定義した c_2' , ϕ_2' の値を示している。 (c_1', ϕ_1') の値はリングせん断試験、一面せん断試験でそれぞれ (1.7 kPa, 39°), (2.7 kPa, 39°) となり、 (c_2', ϕ_2') は (2.4 kPa, 41°), (3.5 kPa, 39°) という値が得られた。いずれの方法で定義した場合でも試験方法による差は小さいものとなった。また、この ϕ' の値 ($39\sim 41^\circ$) は Landva and La Rochelle によるリン

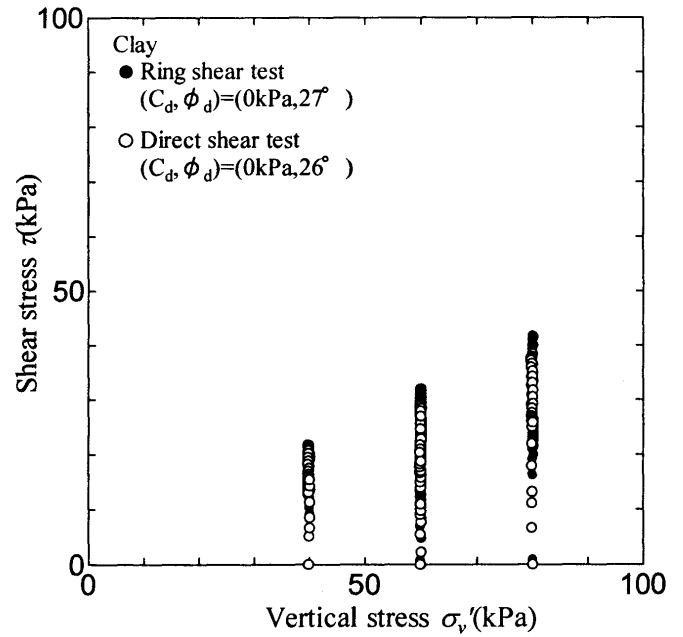


Fig. 9 Stress path on constant pressure tests (Clay).

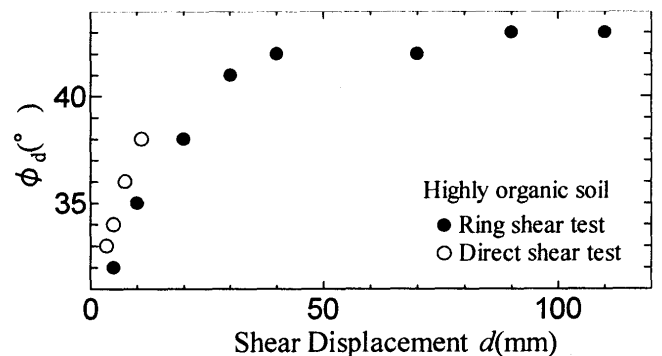


Fig. 10 Effects of final shear displacement on ϕ_d (Highly organic soil).

グせん断試験結果 ($\phi' = 27\sim 32^\circ$) よりは若干大きいものの従来報告されている三軸試験結果よりは小さく、せん断応力載荷型試験は三軸試験よりも小さな ϕ' を与えるようである。

定圧せん断試験の強度定数である c_d , ϕ_d を Fig. 9 に示した。しかし、この c_d , ϕ_d は応力経路の頂点を結んで得られる値であり、前述のように高有機質土の定圧条件では両試験とも τ が増加し続けるためにリングせん断試験のせん断打ち切り時と一面せん断試験の $d = 7\text{ mm}$ 時の ϕ_d で比較すると 7° の開きがあり、定圧せん断試験は定体積せん断試験に比べて試験方法による差が大きい。ここで Fig. 9 のせん断打ち切りが変化した場合の ϕ_d の変化の関係を Fig. 10 に示す。これによるとリングせん断試験については、せん断変位が 50 mm 以上では ϕ_d の差は小

さく $41\sim 44^\circ$ の範囲で収束している。これに対して一面せん断試験では ϕ_d の値は増加しており、 d が大きくなれば ϕ_d も大きな値を示すと思われる。しかし、リングせん断試験と同じだけせん断すれば、曲線の形状から最終的にはリングせん断試験の ϕ_d の値に近づくと考えられ、せん断変位が大きい範囲では ϕ_d の値に大きな影響はないようである。

4. 結論

今回行ったリングせん断試験および一面せん断試験の結果から以下のようなことが得られた。

1. 高有機質土の場合、リングせん断試験と一面せん断試験では $\tau-d$ 関係、応力経路図は異なった値を示した。すなわち、 $\tau-d$ 関係では定体積リングせん断試験でのみせん断変位 10mm 程度で τ がピークを示した、また、応力経路図については定体積試験の場合はリングせん断試験よりも一面せん断試験のほうが応力経路は上方に直立した形状をし、 σ_{v0}' の減少は小さい。また、定圧試験ではせん断打ち切り変位の違いのため、リングせん断試験の応力経路の頂点は一面せん断試験よりも上方に位置する。
2. リングせん断試験および一面せん断試験による高有機質土の強度定数について、これまで報告されている三軸試験による ϕ' よりも小さな値を示した。今回得られた強度定数の値を示す。リング

せん断試験の場合、 $(c_{cu}, \phi_{cu}) = (3.3\text{kPa}, 29^\circ)$ 、 $(c_1', \phi_1') = (1.7\text{kPa}, 39^\circ)$ 、 $(c_2', \phi_2') = (2.4\text{kPa}, 41^\circ)$ となり、一面せん断試験では $(c_{cu}, \phi_{cu}) = (4.4\text{kPa}, 33^\circ)$ 、 $(c_1', \phi_1') = (2.7\text{kPa}, 39^\circ)$ 、 $(c_2', \phi_2') = (3.5\text{kPa}, 39^\circ)$ となり、それぞれ試験方法による差は小さかった。

3. ϕ_d については、せん断打ち切り変位の違いによって、リングせん断試験のせん断打ち切り時と一面せん断試験のせん断変位 7mm 時の場合で 7° の差が生じたが、せん断打ち切り変位の増加とともに ϕ_d は収束する傾向が見られた。このときの ϕ_d の値は $41\sim 44^\circ$ であった。

参考文献

- (1) 地盤工学会(2000)：土質試験の方法と解説－第一回改訂版－，563-600 頁。
- (2) 三笠正人，高田直俊，寺田正治(1982)：新たに試作したねじりせん断試験機について，第3回土質工学研究発表会発表講演集，295-298 頁。
- (3) Landva, A. O. and La Rochelle, P. (1982): Compressibility and Shear Characteristics of Radforth Peats, *ASTM special technical publication 820*, pp.157-191.
- (4) 対馬雅己，岩崎恒明，宮川 勇(1977)：有機質土の強度試験結果に関する二、三の考察，土と基礎，235 巻，13-18 頁。