

粘性土における一軸圧縮試験と 三軸圧縮試験の比較 (第二報)*

山田 洋 右**

鈴木 輝 之**

(昭和50年4月16日受理)

Comparison of the Triaxial Compression and the Unconfined Compression Test for Cohesive Soil (Part II)

by Yoou YAMADA, Teruyuki SUZUKI

The unconfined compression test is conveniently used for measuring the undrained strength of cohesive soil due to the simplicity of its test procedure. In practice, a stress release occurred during sampling of undisturbed soil which cannot be avoided. The effect of stress release on strength characteristics and deformation characteristics measured by the unconfined compression test is yet uncertain.

In this paper, results from the unconfined compression test for some cohesive soils were compared with results of the triaxial compression test on the same soils for the purpose of investigating the characteristics of measured values of the unconfined compression test.

1. ま え が き

一軸圧縮試験は、試験操作が簡単なため、粘性土の強度を求めるのに広く用いられ、その結果を非圧密非排水セン断条件に対応する施行終了後の短期安定解析に利用すれば、かなり信頼性があるとされている¹⁾。

原地盤から試料を採取する場合に、必ず機械的乱れ、応力解放が伴ない、それによって採取した試料の強度は減少する。一方自然地盤強度の異方性によって、セン断試験で鉛直方向に圧縮した場合の非排水強度 C_u 値は、実際の地盤で生ずるスベリ面上の平均的な C_u 値より大きい。これらの2つの要素が相殺するために、一軸圧縮試験で求まる強度は、自然地盤の強度と一致するとされている。しかしこのことは定性的な説明にすぎず、応力解放による一軸圧縮試験の強度特性、変形特性に与える影響についてはまだ不明な点が多いように思われる。

本報告は、第一報²⁾に続き粘性土の一軸圧縮試験結果の特性を調べる目的で、乱した粘性

* 第29回 土木学会年次学術講演会(1974. 10. 広島)にて発表

** 北見工業大学土木工学科

土について、同一圧密条件の下で圧密した同じ試料に対する一軸圧縮試験と三軸圧縮試験の結果の比較を行なったものである。

2. 試料

本実験に用いた試料は、表1に示す物理的性質をもった2種類の自然採取粘性土である。試料の調整は次の方法で行なった。採取した土の不純物を取除くことと、均一化する目的で、水に浸し泥水状にしたものを420 μ のフルイを通過させた。これを供試体を作った時に自立し得るもっとも高い含水比になるまで自然乾燥する。その後ビーティング法によって含水比を均一にした試料を密封した状態で約1カ月以上養生した後、試験に供した。

表1 試料の物理的性質

Table 1. Physical properties of sample

試料	採取地	LL (%)	PI (%)	G_s	粘土含有率 (%)	シルト含有率 (%)	砂含有率 (%)
I	幌内	60	30	2.71	46.5	51.0	2.5
II	紋別	73	38	2.67	41.4	55.6	3.0

3. 実験方法

本実験では、等方圧密および異方圧密を行なった試料について、三軸圧縮試験および一軸圧縮試験を行なった。等方圧密は試料I, IIについて行ない、異方圧密は試料IIの圧密圧 $\sigma_{3c}=1.5\text{ kg/cm}^2$ についてのみ行なった。圧密終了後、次の3種類のセン断試験を行なった。

- (1) 三軸セル内の圧力を変化させず、排水バルブを閉じ非排水三軸圧縮試験を行なう。
- (2) 直ちに三軸セルから供試体を取り出し、一軸圧縮試験を行なう。
- (3) 排水バルブを閉じ、三軸セル内の圧力を0にした状態で軸圧を加える試験（これを三軸($\sigma_3=0$)試験と呼ぶことにする。)を行なう。

各々の場合の応力過程を図1に示す。供試体のセット状態、作成法は第一報と同じなので省略する。

3.1 圧密過程

等方圧密の場合は、 $\sigma_{3c}=0.8, 1.5, 2.5, 4.0\text{ kg/cm}^2$ の4段階とし、放射方向のみ排水を許す等方三軸圧密を行なった。試験中、軸方向変位をダイヤルゲージ(1/100 mm目盛)で、排水量をビューレットでそれぞれ測定した。軸方向変位および排水量の変化が微量となった時点で、間ゲキ水圧が0であることを確認し、圧密の終了とした。

異方圧密の場合は、まず $\sigma_{3c}=1.5\text{ kg/cm}^2$ で等方圧密し、圧密終了後、最小圧密圧(σ_{3c})と最大圧密圧(σ_{1c})の比 K が、0.6, 0.7, 0.8の3段階となるように軸圧を増加させていった。この軸圧の増加は供試体に破壊をおこさないために圧密を進行させながら、半日ごとに0.15

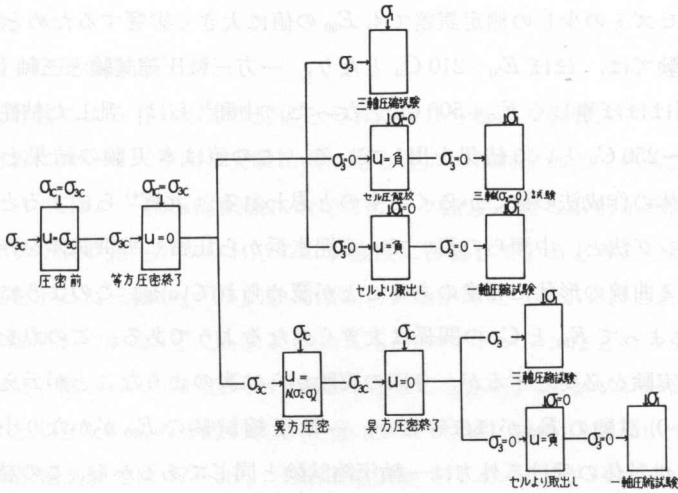


図 1 各実験シリーズにおける応力変化

Fig. 1. Stress change in each test series.

kg/cm² ずつ段階的に行なった。圧密の終了の判定は等方圧密と同じである。

3.2 セン断過程

三軸圧縮試験、一軸圧縮試験ともにヒズミ制御で、ヒズミ速度は供試体高さの 1%/min で行なった。軸方向応力の測定は軸方向変位が 0~1 mm では 0.2 mm ごとに、1~10 mm では 0.5 mm ごとに、10~40 mm では 1 mm ごとに力計の読みをとった。また一軸圧縮試験においては、メンブレンおよびドレーンペーパーは取りはずすが、供試体上下端の端面拘束条件を三軸圧縮試験の場合と同一にするため、シリコングリースを塗布したゴム膜とセルロイド板については、三軸セル中から供試体を取り出す際も終始つけたままで、一軸圧縮試験機にセットした。

4. 実験結果と考察

4.1 変形係数 E_{50}

飽和粘性土の外力による変形は、即時的なものと長期間にわたる圧密との 2 つに分けられる。土の変形係数は前者に関係するもので、構造物の即時沈下の推定などに使われる。

図 2 に E_{50} と C_u の関係を示す。この図には第一報のデータも含んである。この図において E_{50} のバラツキが多いのは、ヒズミのきわめて小さいうちに破壊強度の 1/2 に達し

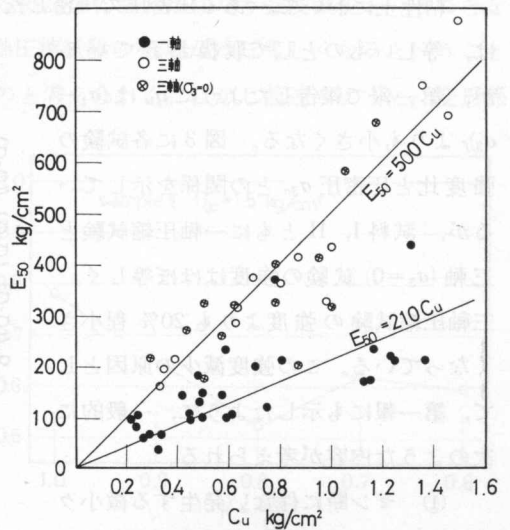


図 2 変形係数と粘着力の関係

Fig. 2. Relationship between E_{50} and C_u .

てしまうため、ヒズミの少しの測定誤差でも E_{50} の値に大きく影響するためと考えられる。

一軸圧縮試験では、ほぼ $E_{50}=210 C_u$ となり、一方三軸圧縮試験と三軸 ($\sigma_3=0$) 試験での E_{50} と C_u の関係はほぼ等しく $E_{50}=500 C_u$ となった。中瀬³⁾ らは、乱した粘性土の三軸圧縮試験で、 $E_{50}=200\sim 250 C_u$ という結果を出している。この値は本実験の結果とかなり相違がある。これは供試体の作成法の違いからくるものと思われる。北郷⁴⁾ らによると、本実験で用いているピーティング法と、中瀬らの用いている泥水浜から圧密して供試体を作る予圧密法とでは、応力-ヒズミ曲線の形状に相違のあることが認められている。このように圧密条件やセン断試験の種類によって E_{50} と C_u の関係は大きく異なるようである。この点を明らかにするには、今後多くの実験を必要とするが、今回の実験からは次のようなことが云えよう。三軸圧縮試験と三軸 ($\sigma_3=0$) 試験の E_{50} がほぼ等しく、一軸圧縮試験の E_{50} がかなり小さくなる。三軸 ($\sigma_3=0$) 試験では供試体の受ける外力は一軸圧縮試験と同じであるから、この結果から、供試体を三軸セルから取り出すという作業をするかどうかというだけで E_{50} の値が大きく変化することになる。三軸 ($\sigma_3=0$) 試験では、一軸圧縮試験と外力は同じであるが、メンブレンで囲われているために膨張の条件に多少の違いがある。したがって、この結果だけから供試体の移動に伴って E_{50} が変化するのは、乱れの影響だけであるとは断定できない。しかし、三軸 ($\sigma_3=0$) 試験と一軸圧縮試験での膨張と乱れの影響の違いがたとえあるにしても、試料のサンプリングに伴うそれに比べればきわめて小さいものであることは確かであり、図2の結果は、一軸圧縮試験による自然地盤の変形係数の決定の困難さを示していると思われる。

2. 強 度

粘性土において、ある圧密圧で圧密した土の一軸圧縮強度 q_u と三軸圧縮強度 $(\sigma_1-\sigma_3)_f$ とは、等しいものとして取扱われているが、第一報で報告したように q_u は $(\sigma_1-\sigma_3)_f$ よりも小さくなる。図3に各試験の強度比と圧密圧 σ_{3c} との関係を示しているが、試料 I, II ともに一軸圧縮試験と三軸 ($\sigma_3=0$) 試験の強度はほぼ等しく、三軸圧縮試験の強度よりも 20% 程小さくなっている。この強度減少の原因として、第一報にも示したように、一般的に次のような内容が考えられる。

- ① セン断に伴ない発生する微小クラックの影響。
- ② メンブレンおよびドレーン

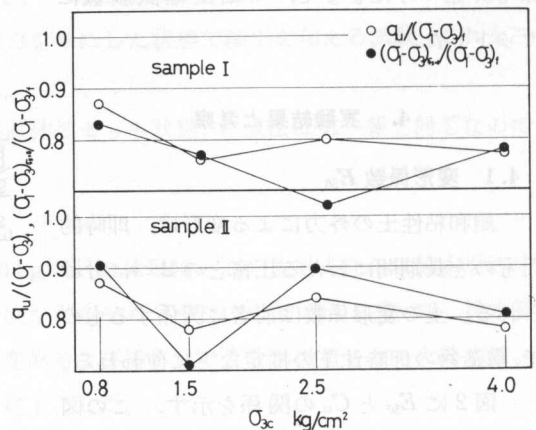


図3 強度比と圧密圧との関係

Fig. 3. Relationship between $q_u/(\sigma_1-\sigma_3)_f$, $(\sigma_1-\sigma_3)_0/(\sigma_1-\sigma_3)_f$ and σ_3 .

ペーパーの影響。

③ 破壊面の位置の違い。

④ 圧密圧解放による有効応力の変化とそれに伴う膨張の影響。

これらの内容について、今回の実験結果にもとづいて検討を加えてみる。

まず①については、一軸圧縮試験においてピーク強度に至る以前から供試体上下端面にかなりの微小クラックの発生がみられ、これが強度に影響していると考えられたが、一軸圧縮試験と同じ強度を示した三軸 ($\sigma_3=0$) 試験ではみられなかったことから、これが強度減少の大きな原因となる説明がつかない。又②についても、メンブレンなどのつかない一軸圧縮強度とそれがついた三軸 ($\sigma_3=0$) 強度がほぼ等しくなることから、メンブレンやドレーンペーパーの影響はほとんどないものと思われる。③については、試料 II について破壊面の角度を測定した。一軸圧縮試験では $47\sim 58^\circ$ 、三軸圧縮試験では $47\sim 62^\circ$ とバラツキが大きく正確な値がつかめなかったが、全体の傾向としては三軸圧縮試験の破壊面の角度が必ずしも一軸圧縮試験よりも大きくなっていることもなかった。さらに等方圧密した土であることをも考慮するならば、③が強度減少の大きな原因になっているとは考えられない。以上の検討から一軸圧縮強度が三軸圧縮強度よりもほぼ 20% 減少する理由として④の圧密圧解放による有効応力の変化とそれに伴う膨張が大きな原因となることが考えられる。

応力解放による有効応力の変化は圧密圧が大きい程大きくなる。したがって、この応力解放に伴う強度減少の程度も圧密圧の大きさによって変わってくると予想されるが、図 3 ではその傾向は見られなかった。この点についてはより広い圧密圧の範囲で実験を行ない確かめる必要がある。

以上の検討では、セルから取出すことによる供試体の乱れに伴う強度減少ということを考えていないが、これは三軸 ($\sigma_3=0$) 試験と一軸圧縮試験の強度がほぼ等しくなるということから、強度に関しては乱れの影響はなかったものと考えられる。しかし前述のように、変形係数では三軸 ($\sigma_3=0$) 試験と一軸圧縮試験で求められる値は大きく異なっている。すなわち三軸セルから供試体取出すことによって、 C_u は変わらないが E_{50} は大きく変化するということになる。この原因は、 C_u と E_{50} でそれを決めている点の軸ヒズミの大きさが全く異なる場所にあると考えられるが、くわしい機構については分らない。しかしこの結果は、 C_u ととではそれに影響を与える要素に違いがあることを示しており、このことは

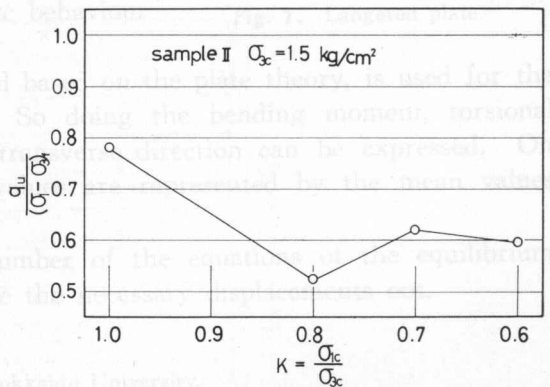


図 4 強度比と K との関係

Fig. 4. Relationship between $q_u/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ and K .

E_{50} を C_u と結びつけて考えるという方法に問題があることを示していると考えられる。

図4に予備的に行なった異方圧密の場合の強度比と K との関係を示している。データの数が少なくははっきりしたことはわからないが、等方圧密の場合よりも強度比 $q_u/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ が小さくなるようである。

このように圧密の履歴の違いによっても、 $q_u/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は異なってくるようであるが、この点については今後実験を進めていくつもりである。

5. むすび

以上述べてきた中で主な内容をあげてみると次のようになる。

- 1) E_{50} は供試体の状態の小さな変化でも大きく変わり、本実験の場合、一軸圧縮試験で $E_{50} = 210 C_u$ 、三軸圧縮試験と三軸 ($\sigma_3 = 0$) 試験で $E_{50} = 500 C_u$ となった。
- 2) 破壊強度は一軸圧縮試験と三軸 ($\sigma_3 = 0$) 試験がほぼ等しく、三軸圧縮試験よりも20%程度小さくなる。この主な原因は圧密圧解放による有効応力の変化とそれに伴う膨張にあると思われる。
- 3) C_u と E_{50} とでは対象となる軸ヒズミが大きく異なり、測定値に関係する要素は異なる。
- 4) 異方圧密した土では、一軸圧縮強度の減少が等方圧密した土の場合よりも大きいようである。

最後に本研究に協力いただいた、元本学学生 小出英晶、川岸伸安両君に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，192 (1973).
- 2) 山田洋右・鈴木輝之：北見工大研報，第5巻，第2号，195 (1974).
- 3) 中瀬明男・小林正樹・兼近明男：第8回土質工学研究発表会，291 (1973).
- 4) 北郷 繁・奈良憲昭・真貝次郎・横堀 亨：技術報告資料，第15号，13 (1975).

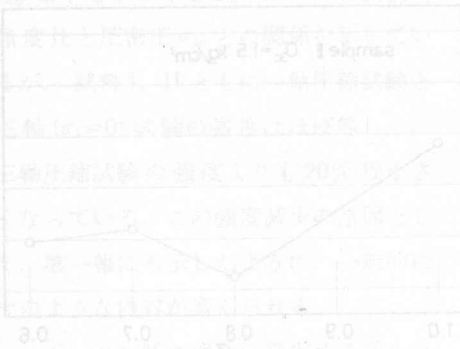


図4 異方圧密土の強度比と K との関係

Fig. 4. Relationship between $q_u/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ and K .