

PDF issue: 2025-07-17

要素試験としての三軸圧縮試験

田中, 勉

(Citation) 神戸大学農学部研究報告,18(1):89-100

(Issue Date) 1988-01

(Resource Type) departmental bulletin paper

(Version) Version of Record

(JaLCDOI) https://doi.org/10.24546/00200492

(URL) https://hdl.handle.net/20.500.14094/00200492



神大農研報(Sci. Rept. Fac. Agr. Kobe Univ.) 18:89-100, 1988

要素試験としての三軸圧縮試験

田 中 **勉*** (昭和62年8月10日受理)

TRIAXIAL COMPRESSION TEST AS AN ELEMENT TEST

Tsutomu TANAKA

Abstract

In a triaxial compression test under low confining pressure ($\sigma'_3 < 0.1 \sim 0.5 \text{ kgf/cm}^2$), effects of membrane force and weight of the test material are relatively large, the test is not taken as an element test. The condition where the triaxial compression test is taken as an element test should be clarified from the standpoint of internal effective stress diagrams. In this paper, effective stress distributions within specimens during triaxial compression tests (CD test and \overline{CU} test) are clarified theoretically considering weight of test materials and water, and the triaxial compression test as an element test is examined. The following results are then obtained:

(1) Effective stress diagrams within the specimens during CD test and \overline{CU} test are the same one as shown in Fig. 7.

(2) Horizontal effective normal stress σ'_x is uniform within a specimen. Therefore, the relative error caused by assuming σ'_x diagram to be uniform $R_{\sigma'_x}$ is nought, and a triaxial compression test is from the standpoint of σ'_x diagram, considered to be an element test.

(3) Vertical effective normal stress σ'_z changes linearly within a specimen. A triaxial compression test is, from the standpoint of σ'_z diagram, considered to be an element test and characteristics of deformation and strength obtained from the test are considered to be significant in the following conditions:

(i) Characteristics of deformation

 $\sigma'_{1} > 1.0 \text{ kgf/cm}^{2}$ for $R_{\sigma'_{z}} < 1.0\%$, $\sigma'_{1} > 0.2 \text{ kgf/cm}^{2}$ for $R_{\sigma'_{z}} < 5.0\%$.

(ii) Characteristics of strength

 $\sigma'_{if} > 1.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ for } R_{\sigma'_{zf}} < 1.0\%,$

$$\sigma'_{1f} > 0.2 \text{ kgf/cm}^2$$
 for $R_{\sigma'_{zf}} < 5.0\%$.

In the case of sandy soil and normally consolidated clay in which a cohesion c' equals to zero and an angle of shear resistance φ' is 30° e.g.:

$$\begin{split} &\sigma_{3f}' > 0.333 \ \text{kgf/cm}^2 \ \text{for} \ R_{\sigma_{zf}'} < 1.0\%, \\ &\sigma_{3f}' > 0.067 \ \text{kgf/cm}^2 \ \text{for} \ R_{\sigma_{zf}'} < 5.0\%. \end{split}$$

Where σ'_1 and σ'_3 are vertical and horizontal effective normal stresses at the center of a specimen respectively, $R_{\sigma'_z}$ is the relative error caused by assuming σ'_z diagram to be uniform and subscript f indicates the value at failure of a specimen.

I.まえがき

土の変形、強度特性を求めるために広範囲に用いられ

* 水利用工学研究室

る三軸圧縮試験¹⁾は、一般的に要素試験^{注)}であると考え

注)試験中,供試体内部のすべての点において応力状態,及び, ひずみ状態が一様であるような試験をいう。ここでは,応力状 態についてのみ考え,供試体内部のすべての点において応力状 態が一様であるような試験を要素試験と定義する。

觔



Fig.1 圧力室内の水圧(側圧)、及び、供試体内の間隙水圧の0レベル

られている。有効拘束圧 σ_3 , が常圧以上 (σ_3 , >0.5~ 1.0 kgf/cd)¹⁾ であれば, このことは問題ないと考え られる。しかしながら,低拘束圧下 (σ_3 , <0.1~0.5 kgf/cd)¹⁾ における土の変形,強度特性を求めるため に行われる三軸圧縮試験 (低拘束圧三軸圧縮試験) は, メンブレン力の影響が大きくなり,また,供試体試料の 自重が無視できなくなり,もはや要素試験ではなくなる と考えられる²⁾³⁾。このように広範囲の拘束圧の大きさ に対して用いられるようになった三軸圧縮試験が,どの ような条件のもとで要素試験であると言えるかについて 調べる必要があると考えられる。そのためには,三軸圧 縮試験中における供試体内部の応力分布,間隙水圧分布 の変化について詳細に考察する必要がある。

本研究は,このような観点から,供試体試料,及び, 水の自重を考慮して,

(1) 三軸圧縮試験中における供試体内部の全応力分布,

有効応力分布,間隙水圧分布を理論的に明らかにし, (2) 三軸圧縮試験がどのような条件の下で要素試験であ

ると言えるかを明らかにすること を目的とするものである。ここでは、飽和土の三軸圧縮

試験のうち圧密排水試験(CD試験),及び,圧密非排

水試験(CU 試験)について考える。

II. 三軸圧縮試験の実験手順

試験中における供試体内部の応力分布,間隙水圧分布 を知るためには,圧力室内の水圧(側圧),供試体内の 間隙水圧,及び,軸荷重測定用計器の0レベルを設定し なければならない。これらの0レベルを実験中のどこで 設定するかを示すために,以下に,簡単に,三軸圧縮試 験の標準的な実験手順を示す⁴⁾。

1 飽和供試体を成形(作製)し,圧力室へ設置する。
② 圧力室へ注水する(Fig.1^{注)}参照)。Fig.1において,10は供試体の初期高さである。このとき,Fig.1に示すように,水を供試体中央まで満たし,圧力室内の水圧(側圧),及び,供試体内の間隙水圧の0レベルをとる。とくに,低拘束圧下の三軸圧縮試験では,Fig.1に示すように,側圧と間隙水圧の0レベルを同時にとる方がよい。この場合,側圧と間隙水圧は,供試体セット時の供試体中央位置における値を測定することになる。

注) Fig.1,及び,あとで示すFig.3中のマノメーターは, 実際には付いていない。説明のために示したものである。

したがって,三軸圧縮試験中の供試体中央における正確 な水圧(側圧),及び,間隙水圧を求めるには,供試体 の軸圧縮量(軸変位)を考慮する必要がある。

③ 圧力室に水を満水させる。(圧密期間中の供試体の 圧縮量を測定する場合,軸荷重測定用の力計,及び,軸 変位量測定用変位計の0レベルをとる。)

④ 側圧をかける。

⑤ 圧密を行う。(排水により試料の収縮が生じる。)
⑥ 軸荷重測定用の力計,及び,軸変位量測定用変位計の0レベルをとる。したがって,軸荷重については,供
試体上端における値を求めることになる。

⑦供試体を圧縮する。

以下の議論では,載荷キャップの重量,ピストンの貫 入量等が考慮され,供試体上端にかかる全荷重が正確に 求められているものとする。また,圧力室内の水圧(側 圧),供試体内の間隙水圧は,試験中の各時点における 供試体中央における値が正確に求められているものとす る。

Ⅲ.供試体内部の応力分布,及び,間隙水圧分布

三軸圧縮試験中における供試体内部の応力分布,及び,



Fig.2 実験中のある時点におけ る供試体にかかる外荷重

間隙水圧分布について考える。ここでは,供試体試料及 び水の自重を考える。ここに,次の記号を用いる(Fig. 2参照)。

- !:実験中のある時点における供試体高さ
- d :実験中のある時点における供試体直径
- A = π d²/4 : 供試体断面積(ゴムスリーブの断面積 を含まない)
- 2:供試体の上端から下向きに測った距離
- Q₇ :供試体上端にかかる全荷重(水圧荷重を含む)
- ▶ z : z 地点における圧力室内の水圧 (側圧)



Fig.3 CD試験の状況

觔

1.供試体内部の間隙水圧分布

CD試験の場合, Fig. 3 に示すようにビューレット の水位が供試体中央より h_B だけ上昇しているものとす $a^{(\pm 1)}$

(a) CD試験の場合 この場合, z 地点における間隙水圧
u_z は,

 $u_{z} = h_{B} \gamma_{w} + (z - \frac{l}{2}) \gamma_{w}$ (1) となる。ここに、 γ_{w} は水の単位体積重量である。供試 体内部の u_{z} 分布を、Fig. 4 (1)^{注 2}に示す。 (b) CU 試験の場合 この場合、z 地点における間隙水

 $E u_z \, \mathrm{d},$ $E u_z \, \mathrm{d},$ $f = u_z \, \mathrm{d},$

 $u_{z} = u_{BP} + (z - \frac{l}{2}) \gamma_{w}$ (2) となる。ここに、 u_{BP} は供試体中央におけるバックプレッ シャー、または、せん断によって発生した間隙水圧、ま たは、その両者を合わせたものである。供試体内部の u_{z}

分布を, Fig. 4(2)に示す。

2.圧力室内の水圧分布

z地点における圧力室内の水圧(側圧) p_z は, Fig. 3 に示す記号を用いて次のように表すことができる。

 $p_z = H \tau_w + (z - \frac{l}{2}) \tau_w$ (3) ここに, Hは, Fig. 3 に示すように,供試体中央位置 における圧力室内の水圧(水頭表示:マノメーター水位 上昇高)である。H は,空気圧(セル空気圧) σ_a ,及 び,圧力室内における供試体中央部からの水深 h_w を用 いて次のように表すことができる。



Fig.4 供試体内部の間隙水圧分布

注1) 排水量に対応する水深ではない。

注2) Fig. 4 には, u: 分布の形状とともに,供試体の上端, 中央,及び,下端における u: の大きさを示している。

なお,あとで示す Figs. 5,6,7も,Fig. 4 と同じ表し 方をしている。

3.供試体内部の水平垂直全応力分布,及び,水平有 効応力分布

ゴムスリーブによるメンブレン力³⁾を考慮すると, *2* 地点における水平垂直全応力 σ_x は、CD試験及び CU 試験の場合において、(3)式を用いて次のようになる。

 $\sigma_{x} = p_{z} + \Delta \sigma_{rm} = H \gamma_{w} + (z - \frac{l}{2}) \gamma_{w} + \Delta \sigma_{rm}$ (5) (5)式において、 $\Delta \sigma_{rm}$ は供試体周囲のゴムスリーブから 供試体に中心方向に作用する力(メンブレン力)に対す る補正量であり次のように表すことができる^{3)注3)}

 $\Delta \sigma_{rm} = -\frac{4}{3} \frac{t}{d} E_m (\epsilon_{am} + 2\epsilon_{\theta m})$ (6) ここに、 $t \, l \, \exists \, \Delta \, \exists \, J = J = J = J$ はメンブレンのヤング率、 ϵ_{am} 、 $\epsilon_{\theta m}$ はそれぞれメンブ レンの軸方向ひずみ(圧縮を正とする)、 円周方向のひ



(1) 水平垂直全応力分布 (σ_r 分布)



Fig.5 供試体内部の水平垂直全応力分 布,及び,水平有効応力分布

ずみ (圧縮を正とする) である。(6)式からわかるように, $\Delta \sigma_{rm} \, \mathrm{d} z \, \bar{\tau}$ 向に変化せず一定であるので, $\sigma_3 = H \gamma_w + \Delta \sigma_{rm}$ (7)

注3)メンブレン力に対する補正量 $\Delta \sigma_{rm}((6)$ 式),及び, $\Delta \sigma_{am}$ ((11式)は,三軸圧縮試験中ゴムスリーブ(メンブレン)が常 に薄肉円筒を保っていると仮定し、ゴムスリーブのポアソン比 $\nu_m \approx \nu_m = 0.5$ として,弾性計算によって求めたものである。 とおくと、(5)式は次のように書き換えられる。

したがって、2地点における水平有効応力 σ_{x} は、 CD試験、CU試験の各場合において、次のように求められる。

(a) CD試験の場合 この場合, σ_x' は(1), (5)' 式から 次のようになる。

(b) \overline{CU} 試験の場合 この場合, σ_x' は(2), (5)' 式から 次のようになる。

供試体内部の σ_x 分布, σ_x 分布を, CD試験,及び, CU試験の場合に分けて示すと,それぞれ,Figs.5(1)-(a), (2)-(a),及び,Figs.5(1)-(b), (2)-(b)となる。 Figs.5(2)-(a),(b)からわかるように, σ_x 分布は,CD 試験,CU試験の両方の場合とも,供試体内部で一様に なる。また,Figs.5(1)-(a),(b)からわかるように,(7) 式で表される σ_3 は供試体中央における水平垂直全応力 である。

4.供試体内部の鉛直垂直全応力分布,及び,鉛直有 効応力分布

供試体の上端にかかる正確な全荷重を $Q_{\tau}^{(\pm)}$,供試体の断面積をAとし、ゴムスリーブによるメンブレンカ³⁾,及び、試料の自重を考慮すると、z地点における鉛直垂直全応力 σ_{z} は、CD試験、及び、 \overline{CU} 試験の場合において、次のようになる。

ZZK,

- $\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$:供試体の飽和単位体積重量 G_s:試料の比重
- e:供試体の間隙比

である。(10式において, **Δ**σ_{am} は軸方向に作用するメン ブレン力に対する補正量であり次のように表すことがで きる³⁾。

(11)式からわかるように、 $\Delta \sigma_{am}$ はz方向に変化せず一定であるので、

注) Qr は, キャップの重量, ピストンの軸荷重, キャップ上端 における水圧荷重から計算される。

とおくと、100式は次のように書き換えられる。

したがって、z 地点における鉛直有効応力 σ_z , d, CD試験、CU 試験の各場合において,次のように求め られる。

(a) CD試験の場合 この場合, σ_z' は(1),(0)'式から 次のようになる。



(1) 鉛直垂直全応力分布 (σ_z分布)





(b) \overline{CU} 試験の場合 この場合, $\sigma_{z'}$ は(2), (10) 式から次の ようになる。

供試体内部の σ_z 分布, σ_z' 分布を, CD試験, 及び, CU試験の場合に分けて示すと, それぞれ, Figs. 6(1)- (a), (2) -(a), 及び, Figs. 6 (1) -(b), (2) -(b)となる。 Figs. 6 (2) -(a), (b)からわかるように, $\sigma_{a'}$ 分布は, *z* 方向に直線的な分布である。また, Figs. 6 (1) -(a), (b) からわかるように, (12)式で表される σ_1 は供試体中央に おける鉛直垂直全応力である。

Ⅳ. 三軸圧縮試験を要素試験と考えることの供 試体内部有効応力,及び,間隙水圧に関す る相対誤差

Figs.4, 5, 6を見ると明らかなように,供試体中 央における間隙水圧,水平有効応力,及び,鉛直有効応 力をそれぞれu, σ_3 ',及び, σ_1 'とすると, CD試験 と CU試験における p_z , u_z , σ_x , σ_x ', σ_z , σ_z ' が次のように統一的にまとめられる。

ここに、u, σ_3' , σ_1' の値は、 CD試験、及び、 \overline{CU} 試験の各場合において次のようになる。

(a) CD試験の場合: $u=h_B \gamma_w$, $\sigma_3'=\sigma_3-h_B \gamma_w$, $\sigma_1'=\sigma_1-h_B \gamma_w$ (b) CU試験の場合: $u=u_{BP}$, $\sigma_3'=\sigma_3-u_{BP}$, $\sigma_1'=\sigma_1-u_{BP}$ *z*方向の p_z 分布, u_z 分布, σ_x 分布, σ_x' 分布, σ_z 分布, 及び, σ_z' 分布をFig. 7 に示す。

以下では,三軸圧縮試験を要素試験と考えることの供 試体内部の有効応力,及び,間隙水圧に関する相対誤差 について考察を行う。 勉

1.水平有効応力 o_x, に関する相対誤差

Fig. 7 (5)からわかるように,三軸圧縮試験を要素試 験と考えることの水平有効応力 σ_x に関する相対誤差 $R\sigma_r$ ^(注)は,

となる。したがって, σ_x 分布に関しては問題がない。 2. 鉛直有効応力 σ_z に関する相対誤差

ここでは,変形特性の場合と強度特性の場合に分けて 考察を行う。

(1) 変形特性の場合 変形特性(応力~ひずみ関係)が どのような条件の下で意味があるかについて考察する。 鉛直有効応力分布(σ_z '分布)が一様であると仮定する ことに対する相対誤差 $R\sigma_z$ 'は, Fig. 7 (6)からわかる ように、

となる。標準的な三軸圧縮試験を考え、 $\gamma' = 1.0 \text{ gf}/\text{cm}$, l = 10 cmとして、 $\sigma_1' \sim R\sigma_2'$ 曲線を求めると、Fig. 8 のようになる。Fig. 8 からわかるように、 σ_1' が小 さくなるにつれて $R\sigma_2'$ が大きくなる。相対誤差 $R\sigma_2'$ が ϵ_1 (%) 以下であるための条件は、(19)式から、次の ようになる。

(21)式で表されるσ'10は、σ²分布からみて、実験から得 られる応力~ひずみ関係に意味があると考えられるσ1'

注)相対誤差は,(供試体中央の値)に対する(供試体上,下端 の値の差)で表すことにする。



Fig. 7 CD試験,及び, \overline{CU} 試験における p_z , u_z , σ_x , σ_z , σ'_x , 及び, σ'_z 分布(まとめ)

の最小値である。標準的な三軸圧縮試験について考え, $\gamma'=1.0 \text{ gf}/\text{cm}, l=10 \text{ cm}$ として, 各 $\varepsilon_1(\mathscr{B})$ に対す る σ'_{10} の値を(21)式を用いて試算した結果をTable 1 に 示す。Table 1 からわかるように, 鉛直有効応力分布 (σ_2)分布)の点からみて, 1.0%以下の誤差をゆるす

Table 1	$\varepsilon_1 \xi$	σ_{10})関係
---------	---------------------	---------------	-----

ε ₁ (%)	0. 5	1.0	5. 0	10.0
σ_{10} '(kgf/cm²)	2. 0	1. 0	0.2	0. 1





とすると、 $\sigma_1' > 1.0 \text{kgf} / \text{cd}$ で要素試験であると考えられ、実験から得られる応力~ひずみ関係に意味があると考えられる^{注1)}。また、5.0%以下の誤差をゆるすとすると $\sigma_1' > 0.2 \text{ kgf} / \text{cd}$ で要素試験であると考えられ、実験から得られる応力~ひずみ関係に意味があると考えられる。

(2) 強度特性の場合 強度特性(粘着力 c',および,内 部摩擦角 φ')^{注2)}がどのような条件の下で意味があるか について考察する。破壊時の鉛直有効応力分布(σ'_{zf} 分 布)が一様であると仮定することに対する相対誤差 $R\sigma'_{zf}$ は, Fig. 7 (6)からわかるように,

- 注1) このとき($\epsilon_1 < 1.0\%$)、 $\sigma_1' < 1.0 \text{kgf} / cd \tilde{c}$ は要素試験であるとは言えず、実験から得られる応力~ひずみ関係は、平均的な意味での応力~ひずみ関係であると考えなければならない。もちろん、この場合には試料及び水の自重を考慮しなければならない。
- 注2) CD試験から得られる強度定数(粘着力 c_d , および, 内 部摩擦角 φ_d)は、一般的に、 \overline{CU} 試験から得られる強度定数 (c', および, φ')に対して、 $c_d = c'$, $\varphi_d = \varphi'$ とい う関係がある⁴⁾。ここでは、c', φ' について議論を進めてゆ くが、 c_d , φ_d についても同様の事柄が言える。

觔



となる。ここに、 σ'_{1f} は、供試体中央における破壊時の 鉛直有効応力の値である。標準的な三軸圧縮試験を考え、 $\gamma'=1.0$ gf/cd, l=10cmとして、 $\sigma'_{1f} \sim R\sigma'_{2f}$ 曲線 を求めると、Fig.9のようになる。Fig.9からわか るように、 σ'_{1f} が小さくなるにつれて $R\sigma'_{2f}$ が大きくな る。相対誤差 $R\sigma'_{2f}$ が ϵ_2 (%)以下であるための条件 は22式から次のようになる。

 $\sigma'_{10f} = \frac{100}{\epsilon_2} \gamma' l$ ………(24) (24式で表される σ'_{10f} は、 σ'_{2f} 分布からみて、実験から得 られる強度定数 c'、 φ' に意味があると考えられる σ'_{1f} の最小値である。標準的な三軸圧縮試験について考え、 $\gamma' = 1.0 \text{gf} / \text{cn}, l = 10 \text{cm} として、各 <math>\epsilon_2(\mathscr{B})$ に対す る σ'_{10f} の値を(24式を用いて試算した結果をTable 2 に 示す。Table 2 からわかるように,破壊時の鉛直有効応 力分布 (σ'_{2f} 分布)の点からみて,1.0%以下の誤差を ゆるすとすると, $\sigma'_{1f} > 1.0 \text{kgf}$ / cdで要素試験であると 考えられ,実験から得られる強度定数 c', φ' に意味が あると考えられる^{注)}。また,5.0%以下の誤差をゆるす

Table 2 $\epsilon_2 \geq \sigma_{10'} f$ の関係

ε ₂ (%)	0.5	1. 0	5. 0	10. 0
$\sigma_{10'f}(\mathrm{kgf/cn})$	2. 0	1. 0	0. 2	0. 1

注) このとき ($\varepsilon_2 < 1.0\%$), $\sigma'_{1f} < 1.0 kgf/cd cdi, 要素$ $試験であるとは言えず、実験から得られる c'', <math>\varphi'$ の値は、 平均的な意味での強度定数 c', φ' の値であると考えなけれ ばならない。もちろん、この場合には、試料及び水の自重を考 慮しなければならない。

96



とすると $\sigma'_{if} > 0.2 \text{ kg f / cd}$ で要素試験であると考えられ、実験から得られる c', φ' に意味があると考えられる。

さて、砂質土または正規圧密された粘性土の場合、一般的に c' = 0 であると考えられる⁵⁾。このとき、供試体中央における破壊時の鉛直、及び、水平有効応力の値 σ'_{1f} 、及び、 σ'_{3f} の間には、次のような関係式が成り立つ。

したがって, このとき, 22式は25式を用いて次のように 書き換えられる。

$$R\sigma'_{zf} = \frac{\gamma' l}{\frac{1+\sin\varphi'}{1-\sin\varphi'} \cdot \sigma'_{3f}} < \frac{\varepsilon_3}{100}$$

$$\dot{\sigma}_{30f} = \frac{100 \gamma' l}{\varepsilon_3} \cdot \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'}$$

(28)式で表されるの'30fは,の'zf分布からみて,実験から得

注)ここでは、 φ' の値として $\varphi'=25^{\circ} \sim 50^{\circ}$ を考える。

中

られる強度定数 φ' に意味があると考えられる σ'_{3f} の最 小値である。標準的な三軸圧縮試験について考え, γ'= 1.0 gf/cm, l = 10cmとして, 各 ϵ_3 (%) に対する σ'_{30f} の値を220式を用いて6種類の $\varphi'(=25^\circ \sim 50^\circ)$ の値について試算した結果をTable 3 に示す。Table 3 からわかるように、たとえば、 $\varphi' = 30^{\circ}$ の場合、破壊 時の鉛直有効応力分布(σ²f分布)の点からみて, 1.0 %以下の誤差をゆるすとすると、 $\sigma'_{3f} > 0.333 \text{kgf} / cm' \tilde{c}$ 要素試験であると考えられ、実験から得られる強度定数 φ' に意味があると考えられる $^{(+1)}$ 。また、5.0%以下の 誤差をゆるすとすると, $\sigma_{3f}^{i} > 0.067 \text{kgf} / \text{cd}$ で要素試験 であると考えられ,実験から得られる φ'の値に意味が あると考えられる。Table 3 からわかるように,要素試 験であると考えられ φ'の値に意味があると考えられる σ'_{3f} の最小値 σ'_{30f} の値は、 φ' の値によってかなり変 化する。

3. 間隙水圧 uz に関する相対誤差

Fig. 7 (2)からわかるように,三軸圧縮試験を要素試験と考えることの間隙水圧 uz に関する相対誤差Ruzは,

Table 3 φ', ϵ_3 の値に対する $\sigma_{30'f}(\text{kgf/cd})$ の値

	ε ₃ (%)				
φ^{*}	0. 5	1.0	5.0	10.0	
25 °	0.812	0. 406	0. 081	0.041	
30 °	0. 667	0. 333	0. 067	0. 033	
35 °	0. 542	0. 271	0. 054	0. 027	
40 °	0. 435	0. 217	0. 043	0. 022	
45 °	0. 343	0. 172	0. 034	0.017	
50 °	0. 265	0.132	0. 026	0.013	

Table 4 $\epsilon_4 \ge u_0$ の関係

ε ₄ (%)	0.5	1.0	5.0	10. 0
$u_0(\mathrm{kgf/cm})$	2. 0	1.0	0. 2	0. 1

注1) このとき (€₃<1.0%), σ'sf < 0.333 kgf/cdでは, 要 素試験であるとは言えず,実験から得られる φ'の値は, 平 均的な意味での強度定数 φ'の値であると考えなければなら ない。もちろん, この場合には, 試料及び水の自重を考慮 しなければならない。

勉

$$Ru_z = \frac{\gamma_w l}{u}$$
(29)
なる。(29)式からわかるように、 u が小さくなるにつれ

て Ru_z が大きくなる。相対誤差 Ru_z が ϵ_4 (%)以下で であるための条件は、(2)式から次のようになる。

(31)式で表される u_0 は, u_z 分布からみて力学特性に意味があると考えられる u の最小値である。標準的な三軸 圧縮試験について考え, l = 10 cm, $r_w = 1.0$ gf/cm² と して, ϵ_4 (%) に対する u_0 の値を(31)式を用いて試算 した結果をTable4 に示す。Table4 からわかるように, 間隙水圧分布 (u_z 分布)の点からみて, 1.0%以下の 誤差をゆるすとすると, u > 1.0 kgf/cm²で要素試験であ ると考えられる^{注 2)}。また, 5.0%以下の誤差をゆるすと すると, u > 0.2 kgf/cm²で要素試験であると考えられ, 実験から得られる力学特性に意味があると考えられる。

間隙水圧分布に関しては、バックプレッシャーを増加 させることによって有効応力を変化させることなくRuz を減少させることができる。したがって、間隙水圧分布 が要素試験の条件に影響することは少ないと考えられる。

V.まとめ

三軸圧縮試験中(CD試験,及び,CU試験)におけ る供試体内部の全応力分布,有効応力分布,間隙水圧分布 を,供試体試料の自重及び水の自重を考慮して,理論的 に明らかにした。そして,供試体内部の有効応力分布の 観点から,三軸圧縮試験がどのような条件の下で要素試 験であると言えるかについて考察した、そして,次のよ うな結論を得た。

(1) CD試験及び CU試験における供試体内部の間隙水 圧分布,水平及び鉛直垂直全応力分布,及び,水平及び 鉛直有効応力分布は,Fig.7 に示すように統一的にま とめることができる。

(2) 水平有効応力 σ_x' は,供試体内において一様分布で ある。したがって, σ_x' 分布に関してはつねに要素試験 の条件が満足されている。

注2) このとき(ε₄ < 1.0%), u < 1.0 kgf/cd では要素試 験であるとは言えず,実験から得られる試料の力学特性は, 平均的な意味での力学特性であると考えなければならない。 もちろん,この場合には,試料及び水の自重を考慮しなけ ればならない。

(3) 鉛直有効応力 σ_z' は,供試体内において,(17)式で表 されるように直線的に変化している。 σ_z' 分布の観点か ら,三軸圧縮試験から得られる変形特性(応力~ひずみ 関係),及び,強度特性(粘着力 c',及び,内部摩擦 角 φ')に関して次の事柄が言える。ここでは,標準的な 三軸圧縮試験,すなわち,試料の R_{uz} 単位体積重量 $\gamma'=1.0 \text{ gf/cn}$,試料の長さ l = 10 cm について述べる ことにする。

- (i) 変形特性(応力~ひずみ関係) σ_{z}' 分布に関し て、1.0%以下の誤差をゆるすとすると供試体中央に おる鉛直有効応力 σ_{1}' が $\sigma_{1}' > 1.0 kgf / cdで, 5.0%$ 以下の誤差をゆるすとすると $\sigma_{1}' > 0.2 kgf / cdで要素$ 試験であると考えられ、実験から得られる応力~ひず み関係に意味があると考えられる。
- (ii) 強度特性(粘着力 c',及び,内部摩擦角 φ')破破壊時の鉛直有効応力分布(σ'_{zf} 分布)に関して,1.0%以下の誤差をゆるすとすると供試体中央における破壊時の鉛直有効応力 σ'_{1f} が σ'_{1f} >1.0kgf/cdで,5.0%以下の誤差をゆるすとすると σ'_{1f} >0.2kgf/cdで要素試験であると考えられ、実験から得られる強度定数c', φ' に意味があると考えられる。

さて、砂質土または正規圧密された粘土の場合、一 般的に c' = 0 であると考えられる。このとき、たと えば $\varphi'=30^{\circ}$ の場合、 σ'_{sf} 分布に関して、1.0%以 下の誤差をゆるすとすると供試体中央における破壊時 の水平有効応力 σ'_{3f} が $\sigma'_{3f} > 0.333 kg f/cm で、5.0$ $%以下の誤差をゆるすとすると <math>\sigma'_{3f} > 0.067 kg f/cm$ で要素試験であると考えられ、実験から得られる φ' の値に意味があると考えられる。 φ' の値に意味がある と考えられる σ'_{3f} の最小値 σ'_{30f} の値は Table 3 に 示すように φ' の値によってかなり変化する。

上の(i),(ii)で述べた範囲は,換言すれば,試料及び 水の自重を考慮しなくてもよい範囲であると言うことが できる。したがって,それらの範囲外では,要素試験で あるとは言えず,実験から得られる応力~ひずみ関係,

または, c', φ' は平均的な意味での応力~ひずみ関係, または, 強度定数c', φ' であると考えなければならない。もちろん, その場合には, 試料及び水の自重を考慮しなければならない。

(4) 間隙水圧 u_z は,供試体内において,(15)式で表され るように,直線的に変化している。標準的な三軸圧縮試 験 (l = 10 cm, $r_w = 1.0$ gf / cm³) について考えると, u_z 分布の観点から,三軸圧縮試験から得られる力学特 性に関して次の事柄が言える。間隙水圧分布 (u_z 分布) に関して、1.0%以下の誤差をゆるすとすると供試体中 央における間隙水圧uがu > 1.0 kg f/cdで、5.0%以 下の誤差をゆるすとするとu > 0.2 kg f/cdで要素試験 であると考えられ、実験から得られる力学特性に意味が あると考えられる。

間隙水圧分布に関しては、バックプレッシャーを増加 させることによって、有効応力を変化させることなく、 間隙水圧分布を一様と仮定することに関する相対誤差 *Ru_zを減*少させることができる。したがって、間隙水圧 分布が要素試験の条件に影響することは少ないと考えら れる。

付 言

ここでは、試料及び水の自重の影響を調べることを目 的としており、端面摩擦がないものとして考察を進めた。 より正確に考察するためには、端面摩擦の効果について も詳細に検討する必要があると考えられる。ただ、密な 砂の繰返し非排水三軸特性を調べた研究⁶⁾によると、通 常の試験では端面摩擦の影響はあまりないという結果が 得られている。また、サン・ブナンの定理から、端面摩 擦の効果は供試体端部に限られると考えられる。このよ うな理由から、端面摩擦の影響は、とくに供試体の中央 部付近においては少ないと考えられる。

要素試験としての三軸圧縮試験を行う場合,とくに低 拘束圧三軸圧縮試験,透水型三軸圧縮試験などを行う場 合,試験中における供試体内部の応力分布,及び,間隙 水圧分布について正確に把握しておく必要があると考え られる。ここで示した方法は,端面摩擦を考慮したもの ではなく簡便なものではあるが,(15),(5)',(16),(13)',(17) 式を用いて,簡単に三軸圧縮試験における供試体内部の 応力分布及び間隙水圧分布の一様性の程度を求めること ができ,非常に有用であると考えられる。

〔**謝辞**〕本報告をまとめるにあたり有益な御助言を頂 きました神戸大学農学部尾崎叡司教授に心から謝意を表 する次第である。

引用文献

- 1)足立紀尚,深川良一:土と基礎32(2), pp.5-8 (1984).
- 2)石原研而, 菊池喜昭, 堤 康一: 第18回土質工学研 究発表会講演概要集, pp.353-354 (1983).
- 3) FUKUSHIMA, S. and F. TATSUOKA: Soils and Foundations 24(4), pp.30-48 (1984).
- 4) 土質工学会編:土質試験法(第2回改訂),土質工学会,pp.495-536 (1980).
- 5) 土質工学会関西支部編:わかりやすい土質力学 土

勉

の c と φ (軽部大蔵著),土質工学会関西支部, pp. 75-88(1984).

6) 土質工学会砂地盤の工学的性質の評価法に関する研 究委員会編:砂質土および砂地盤の変形・破壊強度 の評価――室内試験法および試験結果の解釈と適用 ――に関するシンポジウム発表論文集,土質工学会, pp.7-46(1984).