

端部拘束条件による土供試体の変形について

東北大学工学部 正員 范 世亮

§ 1. まえがき

突固めた土供試体のせん断強度は供試体の端部拘束条件によって異なることが知られている¹⁾、その主な原因としては載荷板との接触面における摩擦の影響によって生ずる端部のくさび型拘束領域の発達の結果によるものである。しかし、Rone と Bardenによる端面摩擦の軽減実験においても同じような拘束領域が生じているようである。このような端部のくさび型拘束領域が生ずるが、供試体内部の応力-ひずみ分布の均一性は得られない。したがって、本実験報告は異なる端部拘束条件による土供試体の変形性状を調べるると同時に供試体内部に存在する応力-ひずみ分布の均一性を示す部分を確認し、異なる含水比と側圧による変形への影響についても触れるものである。

§ 2. 実験装置と試験方法

一般三軸圧縮試験機のセル内にFig. 1に示すような側方変位と軸方変位を測定する左右対称のコンタレーバ式変位測定装置を設け、側方変位用アームは五組、軸方変位用アームは四組使用した、それぞれの変位はオシログラフペーパーに自記記録させるようセットした。供試体の五等分面の軸方変位は挿し込んだ長さ6.2 cmの針の両端に銅板を接触して測定した、五等分した個所の側方変位は銅板を直接供試体に触れて測った、供試体と端面の側方変位は測定困難なため、下端面の側方変位と同等であると見なした。

供試体の端部拘束条件としてはFig. 2に示したような三種類の載荷板を使用した、圧縮試験は側圧($\sigma_2 = 1, 2, 3 \text{ kg/cm}^2$)を加えた後、全軸ひずみがばらばら一定になった時、非排水試験で行った、載荷速度は $1\%/min$ である。実験に供した試料の物理的性質と供試体の種類はTable-1, Table-2の如くである。

Table-1 Physical Property of Sample

SPECIFIC GRAVITY	2.702	MAX. GRAIN SIZE	1.2 mm	UNIFORMITY COEF.	1.15
LIQUID LIMIT	51.8 %	PLASTIC LIMIT	32.4 %	PLASTICITY INDEX	19
OPT. MOISTURE CONTENT	32.6 %	MAX. DRY DENSITY	1.430 g/cm^3		

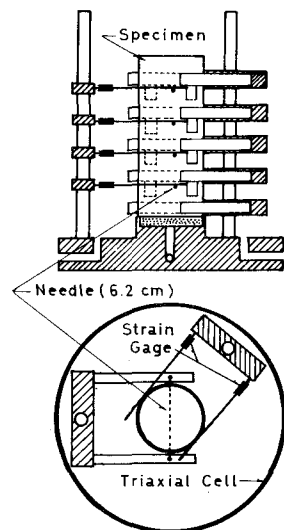


Fig. 1 Apparatus for Measuring Axial & Lateral Displacements

§ 3. 実験結果と考察

3-1 軸方ひずみと側方ひずみ

軸対称とする土供試体の変形は円筒坐標において、次のような式で表わされる。

$$\begin{aligned} \epsilon_z &= \frac{\partial u}{\partial z} & (1) \\ \epsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r} & (2) \\ \epsilon_\theta &= \frac{u}{r} & (3) \end{aligned}$$

若し、応力-ひずみ分布が均一であるならば供試体内部の各点の軸方変位はFig. 3に示した直線①になるはずである、しかし、一般には上下端部にくさび型

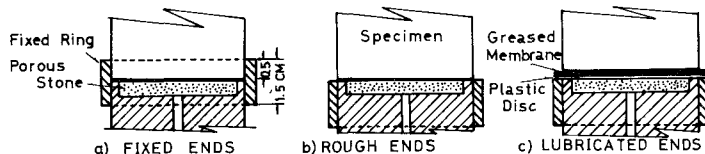


Fig. 2 Various Ends

Table-2 Specimen

NO.	W %	S %	V_d %	V_w %	$\gamma_d \text{ g/cm}^3$	e
1	29.7	74.2	0.134	0.386	1.298	1.082
2	31.6	78.8	0.110	0.410	"	"
3	34.2	85.5	0.076	0.444	"	"
4	36.0	89.9	0.053	0.467	"	"

拘束領域が発生するため図中の曲線④のようになるようである、また、特に高い含水比を有する供試体の場合は曲線⑤のようになることもある、端部の拘束条件によっては曲線③と④の混合曲線も得る。

Fig. 4 の (a), (b) は No. 1, 3 の供試体の五等分面の軸方変位を示したものである、いずれも端部拘束条件による影響は全ひずみの増大とともに顕著に現れるようである、そして、含水比の高い供試体では両端部も完全拘束した方が均一分布曲線（図中の点線）に近づいているようであり、低い含水比の供試体では端面の摩擦軽減によって均一分布曲線に接近するようである。

供試体を五等分した各部分の軸方ひずみが供試体内で如何に異なっているかを見易くするため、Fig. 5 のようにプロットした、一例として、No. 2 の供試体について挙げたものである。図から明らかのように、端部拘束条件による各部分の軸方ひずみはかなりの相異を示している、これも同様に低い含水比の供試体ほど顕著に現れている。そこで、中央部分 (c) の軸方ひずみに注目すれば全ひずみに近似していいことが判る。したがって

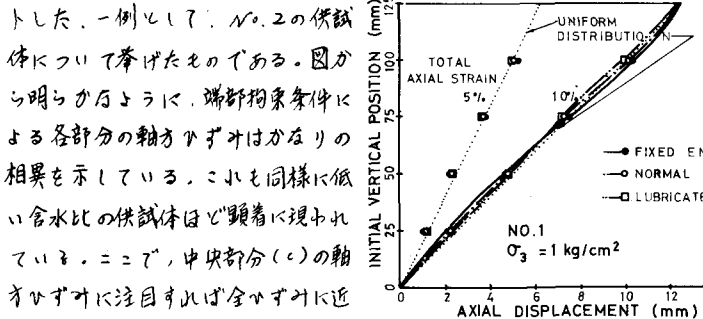


FIG. 4 (a) AXIAL DISPLACEMENTS

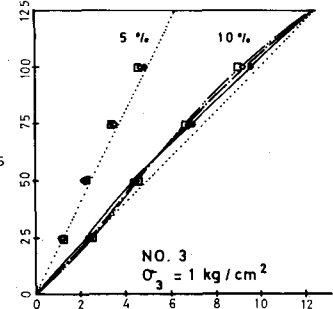


FIG. 4 (b) AXIAL DISPLACEMENT

圧縮応力による供試体の変形ひずみは端部の拘束条件によって各部分が異なる値になるが、中央部分の値は端部の拘束条件の影響をより少なく受けていることが云える、尚供試体両端部の軸方ひずみが異なっていることは上下端部の間の水圧の相異に起因するものと考えられる、高い含水比の供試体では両端部の軸方ひずみ差はそれほどないようである。

Fig. 6 は No. 2 の供試体の五等分面の側方ひずみの分布を示したものである、供試体上端面 (A 点) の側方ひずみは下端面 (F 点) の側方ひずみと同等値であるとしてプロットしたもので、事実上、完全拘束端を除いて、いくぶん大きくなるものと考えられる、図から明らかのように、圧縮応力による土供試体の変形性状は端部の拘束条件のいかんにかかわらず全体的に中央部分がふくらみ、各部分が異なる変形係数 (E, ν) が異なることを意味する。したがって、供試体の圧縮応力によるせん断破壊は端部拘束条件によって異なる破壊性状が異なるものである。

3-2. 体積変化率

土供試体の五等分した各部分の圧縮応力による体積変化は上述の軸方変位と側方変位から求められる、ただし、各部分の側方変位は各部分の上下面の側方変位を平均して使用した、Fig. 7 は No. 2 供試体の各部分の体積変化率 ($\Delta V/V_0 = \Delta V/V_0 \times 100\%$) の分布を示したものである。図から判るように、全ひずみの増加とともに各部分

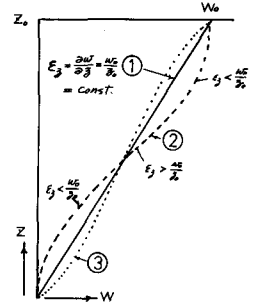


Fig. 3 Possible Strain & Displacement Condition

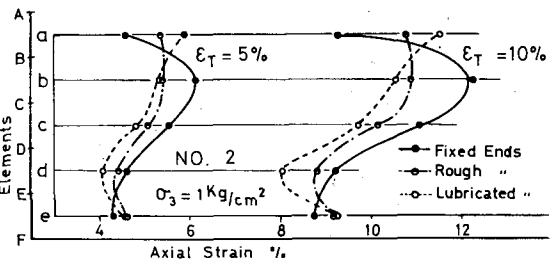


Fig. 5 Distribution of Axial Strain in Elements

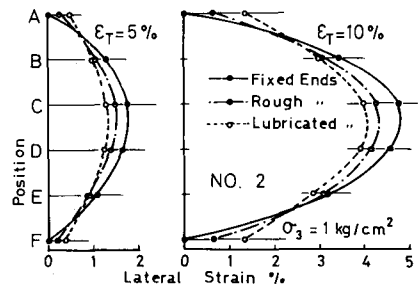


Fig. 6 Variation of Lateral Strain along Length of Specimen

の体積変化率は異ってくる、ここで明らかのように中央部分の体積変化は端部拘束条件によらずほぼ同じ値を示している、この現象は他の異なる含水比の供試体についても同様な結果が得られた、したがって、圧縮による土供試体の変形は中央部分か他の部分には端部拘束条件の影響もより少なく受けていることが云える。それ故に、土の強度特性や変形特性を論ずるについて、土供試体の中央部分のみで解析すればよりよい結果が得られることであろう。

3-3 異なる側圧における土供試体の変形性状

三軸圧縮試験において側圧の増大に従い、土のせん断強度は増えるが、変形ひずみについてどのような影響を与えているかは明らかでない、よって、それについて調べたのがFig. 8である、これは端部の拘束条件がFig-2の(b)の場合である、図から明らかなように、異なる側圧による変形への影響は上端部が最も大きく、中央部が最小なようである、そして、側圧が小さい場合は上下端部の変形ひずみは異なるが、側圧が大きい場合上下端部の変形ひずみは漸次接近するようである、これは側圧が大きい場合、上下端部に生ずるくさび型拘束領域の発達が等しいことを意味する、つまり、側圧が小さい場合、上下端部が受ける応力条件が異なっていることである、

3-4 変形に及ぼす含水比の影響

土の変形は圧縮応力による土粒子の再配列と含水量の移動に起因するものである、ここで異なる含水比の供試体についての変形を調べたのがFig. 9である、図から明らかなように、最適含水比前後の含水比を有する供試体の軸ひずみ分布は傾向的に異なっている、したがって、最適含水比の供試体が最も応力カーブひずみ分布の均一性を示すものであると考えられる、尚含水比は少ない方が上下端部分の軸ひずみが等しくなるようである、これと逆に含水比は高い程上下端部が示す軸ひずみは異なる、結局は含水比の多少に関係なく、供試体の中央部分の軸ひずみは全ひずみに近似することである、

3.4. むすび

以上の実験結果を要約すると次のようなことが書ける、

- 1) 土供試体の圧縮応力による変形は端部拘束条件によって異なるが、中央部分に及ぼす影響は他の部分より少ないようである。
- 2) 三軸圧縮試験における側圧が大きいほど変形は上下対称となる。
- 3) 供試体は最適含水比の場合が応力カーブひずみ分布の均一性もよりよく現われるようである。

参考文献: 1) Rowe & Barden "The Importance of Free-Ends in the Triaxial Test" ASCE, SM1, Vol 90, Jan. '64

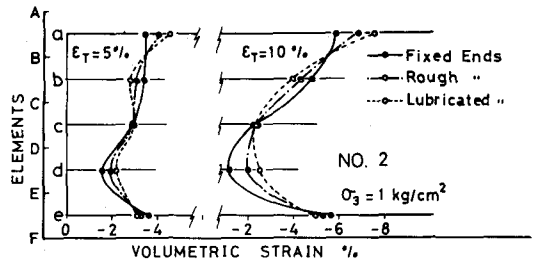


Fig. 7 Distribution of Volumetric Strain in Elements

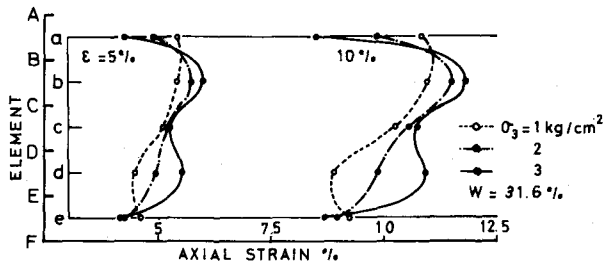


FIG. 8 Distribution of Axial Strain in Elements for Given Values of Average Axial Strain (ϵ_T)

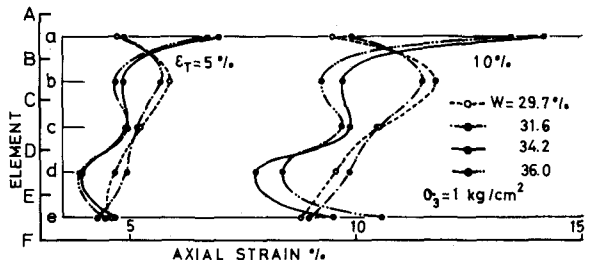


FIG. 9 Distribution of Axial Strain in Elements