

名古屋大学 正員 市原 松平

大学院 学生員 〇松沢 宏, 渡辺 真吾

1. まえがき この研究では筆者らの研究室で作製した平面ひずみ三軸圧縮試験機と普通の三軸圧縮試験機ともを用いて、気乾の砂に対して試験を行ない、強度をも含めたせん断特性を比較、検討し、その共通点や差を明きらかにし、とくに、両拘束状態での強度(φ), 破壊ひずみの関係を明確にした。なお平面ひずみ三軸圧縮試験機については既に発表されたが、今回はとくに供試体境界面での摩擦を軽減させて試験した。

2. 装置 平面ひずみ三軸圧縮試験機は直方体の土の試料(巾4cm×高さ8cm×長さ32cm)に水圧で等方圧を作用させ、さらに試料長手方向の変形を拘束した平面ひずみ状態のもとで、試料に鉛直軸ひずみを与えて圧縮破壊をおこなわせる装置である。写真1に装置本体も、図1に装置概略を示す。圧力室(巾12cm×高さ20cm×長さ50cm)は載荷ジャッキ上に設置され、鉛直方向に1/mm分変位させることができる。試料への鉛直荷重は着床角が試料長手方向端部から1/4、長さの1/4と作る位置に取付けた2本の載荷棒で載荷し、この反力を荷重計を介して架台からとっている。圧力室内には試料長手方向の変形を拘束する拘束板①、②も設置するようにしている。拘束板②は内部が圧力室とつながっていて、試料から受ける圧力(中間主応力、σ₂)を計測できるようにしている。中間主応力を計測する圧力室内は脱気水で満たされ、この水圧はゼロ指示計を介して圧力計で計測するようにしている。鉛直荷重、中間主

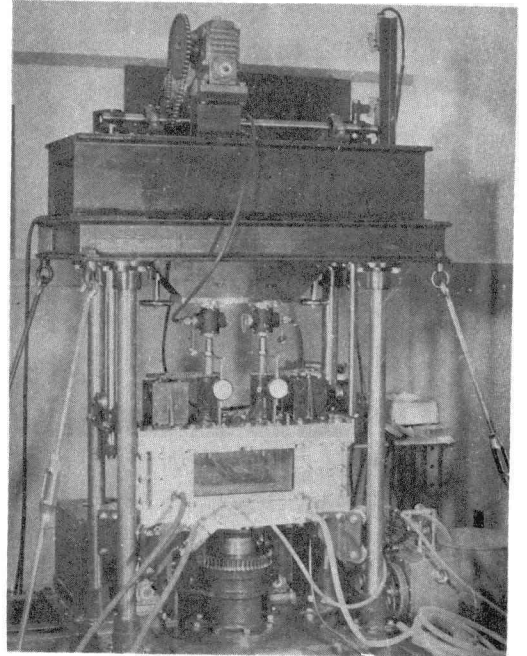


写真-1

応力計測用圧力室の内圧、試料の軸方向変形量は電気的に計測し、電磁ペンシログラフに記録した。

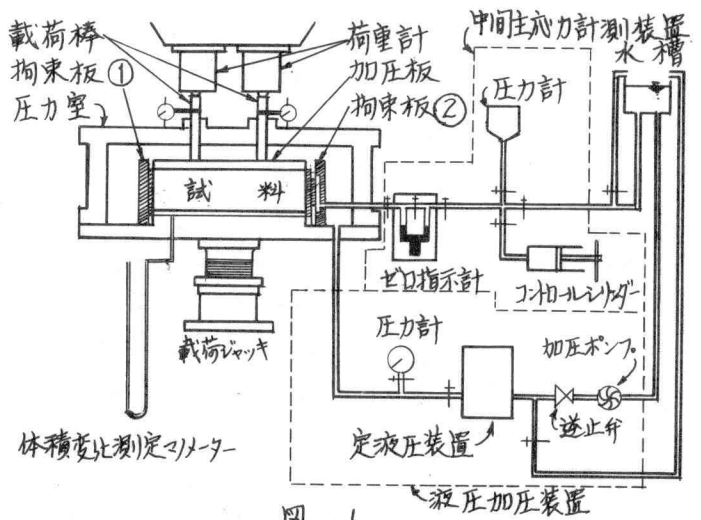


図-1

普通の三軸圧縮試験(ルウェー製の装置を用いた。

3. 試料と試験方法 砂は気乾の豊浦標準砂を用いた。 $G_s = 2.65$, $D_{50} = 0.15 \text{ mm}$, $U_c = 1.41$ である。気乾での最大間げき比は0.969, 最小間げき比は0.609であった。平面ひずみ, 三軸両試験とも, 初期間げき比0.663, 0.735, 0.807, 0.880, 液圧は0.5, 1.0, 2.0 kg/cm^2 で行った。上述の初期間げき比はそれぞれ $D_r = 25\%$, 45%, 65%, 85%に相当する。

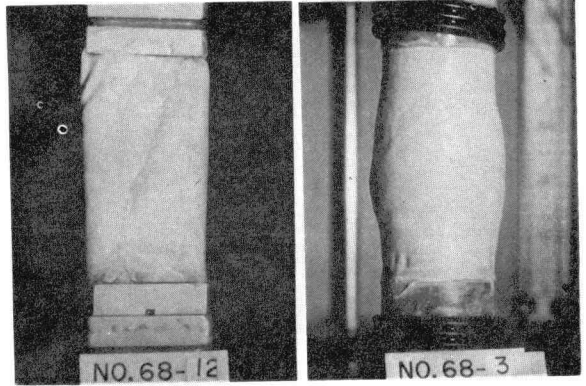


写真-2

写真-3

試料は所定の間げき比が得られるように, 試料成形箱の側壁を木づちで軽くたたいて締め固めた。また, 試料の境界面における摩擦抵抗を軽減するために, 前回と同様に, 試料と拘束板との間にシリコングリスを塗布しゴム布(厚さ0.1mm)を挿入し, さらに, 今回の試験, 試料上下面と加圧板, 試料体台との間にも上述のゴム布を挿入した。試料上下面の摩擦軽減に伴って中間主応力の計測道の感度をかなり高めた。

4. 結果と考察 平面ひずみ三軸圧縮試験と普通の三軸圧縮試験の結果の比較について述べるが, 以下, 前者を「平面ひずみ」, 後者を「三軸」と略記する。

写真2は平面ひずみ, 写真3は三軸の試験後の試料形状の代表例であって, 写真2は試料長手方向から撮影したものである。これらから, 試験後の形状は三軸の方が平面ひずみよりも側方のふくらみが顕著であるが, すべて平面ひずみの方が明確であったことがわかる。

両試験での応力~ひずみ曲線と体積変化率~ひずみ曲線の一例を示すと図2のようになる。平面ひずみでは軸ひずみが生ずると同時に応力 σ_1 , σ_2 は増加しはじめ, ほとんど同時に最大となるようである。 σ_1 について両試験結果を比較すると, 平面ひずみではピークが顕著であり, 破壊後に体積変化が停止して残留抵抗が明確にあらわれるが, 三軸ではピークはあまり顕著でなく, また残留抵抗はさらに大きな変形を与えなければならぬようである。このことは, 両拘束状態の砂のせん断特性の差として特筆すべきことの一つである。

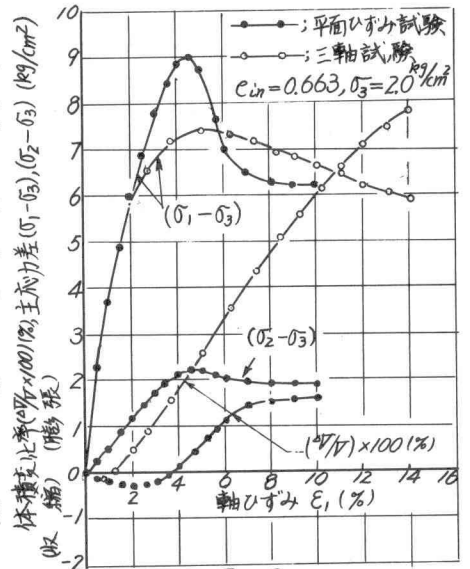


図-2

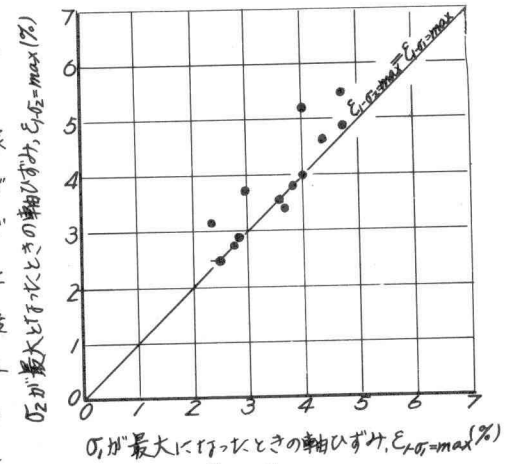


図-3

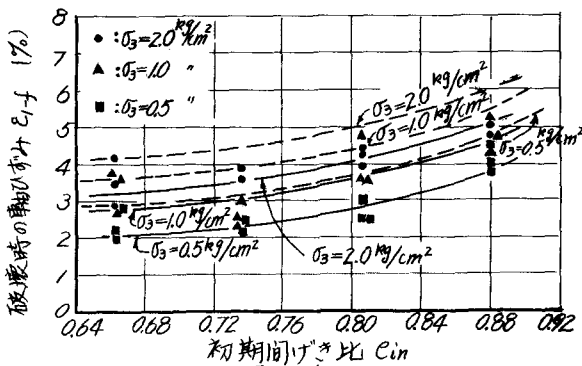


図 - 4.

図3の平面ひずみ試験で、中間主応力 σ_2 が最大となったときの軸ひずみを縦軸とし、最大主応力 σ_1 が最大となったときの軸ひずみを横軸として示したものである。図から、莫の散乱の範囲で σ_1 と σ_2 は同一軸ひずみで最大となるようである。

次に、平面ひずみでの破壊ひずみを初期割げき比 E_{in} に対して示すと図4が得られる。莫けかたりに散乱しているが、各破圧に対して縦軸の値は E_{in} の変比に依りて実線を示したように変化する。図には三軸の結果を破線を示したが、これにすると、平面ひずみの破壊ひずみは三軸のそれよりもやや小さかった。この図から以下に示す特筆すべきことが明らかとなった。すなわち、図3の曲線から各破、 E_{in} に対するひずみを求め、平面ひずみでの破壊ひずみ E_{i-f-p} を縦軸に、三軸のそれ (E_{i-f-T}) を横軸にとると図5のようになり両者は次式の関係があることがわかった。

$$E_{i-f-p} = 0.9 \cdot E_{i-f-T} - 0.45 (\%) \dots (1)$$

上式は同一初期割げき比、同一破圧のもとでの E_{i-f-p} と E_{i-f-T} とを関連づけるための式であることを注意を要する。

次に、両試験での破壊時体積変化率 $(\Delta V/V)_b$ を E_{in} に対して示すと図6のようになる。 $(\Delta V/V)_b$ は E_{in} が大に行けば小さくなった。また、両試験を比較すると、三軸の方が平面ひずみよりも大であったが、これは、三軸では平面ひずみの場合よりも供試体のかたりの部分が破壊域と行ったためと考えられる。

ここで、図2に示した体積変化率ひずみ曲線の接線勾配 $d(\Delta V/V)_b/dE_{in}$ に着目し、 $d(\Delta V/V)_b/dE_{in}$ が最大となったときの軸ひずみと破壊ひずみとの関係を調べるところ、両試験とも破壊時に最大であった(図7)。図8は平面ひずみにおいて、 $d(\Delta V/V)_b/dE_{in}$ が最初0であったときより作用

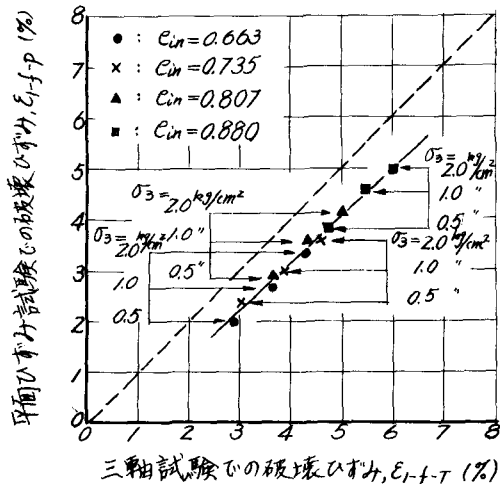


図 - 5

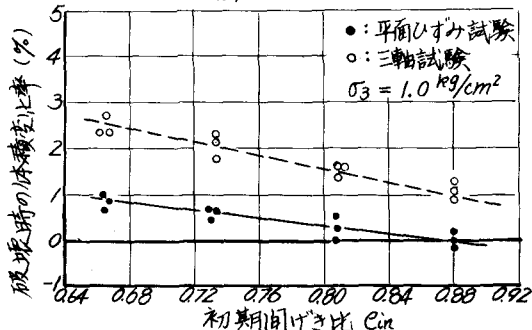


図 - 6

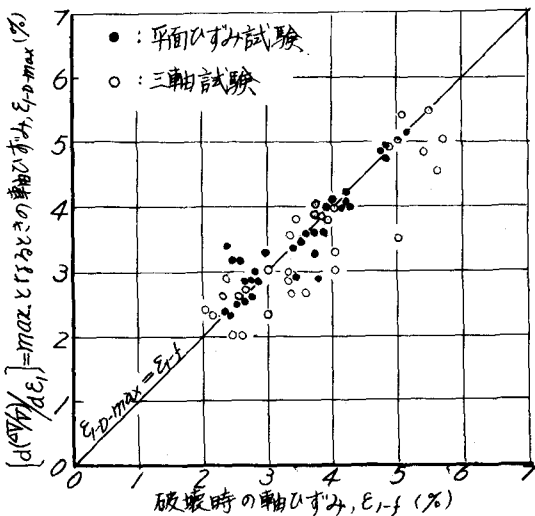


図 - 7

している主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と破壊後に再度 σ_3 が0になっ
たときに作用している主応力差(残留抵抗) $(\sigma_1 - \sigma_3)$ との
比を初期間げき比に対して示した図である。縦軸の値
は e_{in} に無関係に行き1.0であり、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ は破壊後の残
留抵抗に等しく、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ もオベリ抵抗ともいう
ことにある。上述のことは平面ひずみ試験から明さらか
れたことと、普通の三軸試験ではこのようにすることも
実証することはできなかった。しかしながら、上記のこ
とが砂のせん断特性であると考えれば、三軸においても
 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ は(実際には計測できないが)、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ に等しい
と十分に考えられる。

次に、内部摩擦角 ϕ とオベリ抵抗角 ϕ_o を縦軸にとり、
横軸に初期間げき比 e_{in} として両試験結果を示すと、図9
のようになる。この図から、両試験ともに、 ϕ は e_{in} が
さいほど大きく、また、平面ひずみの方が三軸よりも密
度約75%大きく $\phi_o = 41^\circ$ ($e_{in} = 0.663$)、ゆるい砂で
約3%大きく $\phi_o = 35.8^\circ$ ($e_{in} = 0.880$)であった。一方、 ϕ
は両試験ともに e_{in} に無関係に行き一定の値であって、
平面ひずみで $\phi = 28 \sim 29^\circ$ 、三軸で $\phi = 26 \sim 27^\circ$ と、前
者の方が大きかった。このことから、試料の拘束状態が
砂のオベリ抵抗にも影響をおよぼしているという着目お
べきことがわかった。

最後に、平面ひずみでの内部摩擦角 ϕ_p 、三軸でのそれ (ϕ_T)
との関係に着目すると、両者は図10に示すように直線関
係があつて、次式であらわされる。

$$\phi_p = 1.27 \cdot \phi_T - 8.13 \quad (\text{度}) \quad \dots (2)$$

上式によれば、普通の三軸圧縮試験の結果から同一間げ
き比の砂の ϕ_p を推定することができるといふ。

5. 結 語

前図に引きつづき、気乾の砂に対する
試験を行つた。今回は試料境界面の摩擦の軽減等、
結果の精度の向上に努めた。ここに示されたが、平
面ひずみ試験で得られた見かけの粘着力はルジェ製の三
軸圧縮試験機で得られたそれとほとんど同程度であつて、 0.2
 kg/cm^2 であった。この研究は昭和43年度文部省科学研究費
(特定研究)によって実施されたこととここに付記し、感謝の意を表する。

<参考文献>市原・松沢「平面ひずみ状態における強度ひらひらせん断特性に関する研究」

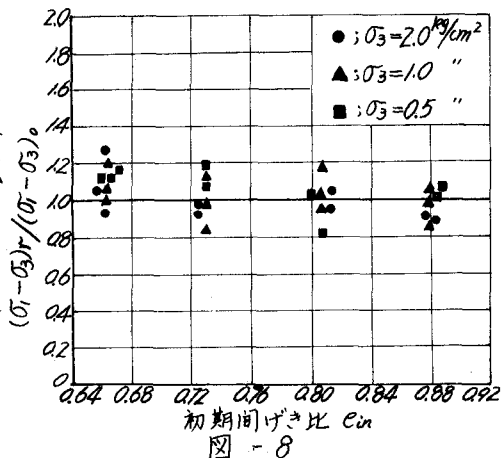


図 - 8

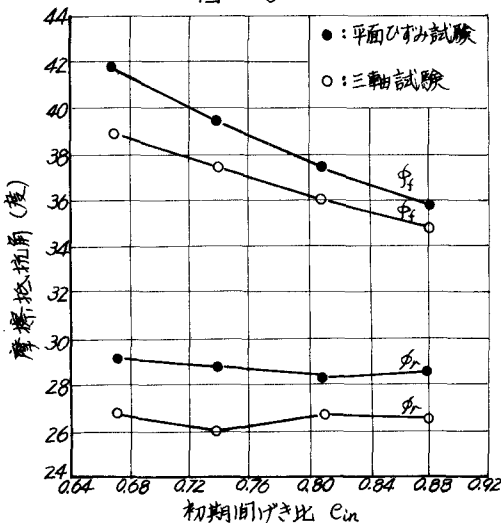


図 - 9

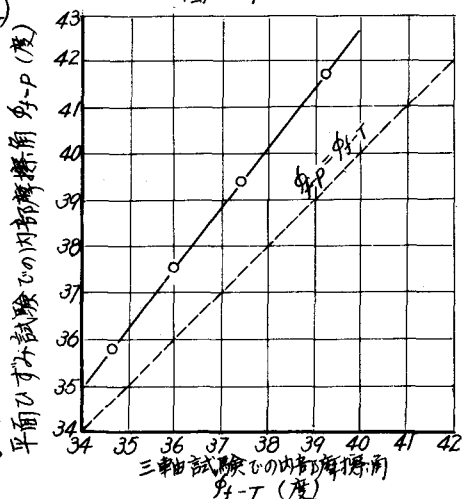


図 - 10