

## 傾斜実験、一面せん断試験、平面ひずみ圧縮試験による豊浦砂とガラスビーズの強度特性

日本大学大学院 学生会員・中村 祐介 高橋弘元  
日本大学理工学部 正会員 梅津 喜美夫

1. はじめに 当研究室では、一般に行なわれている平面ひずみ圧縮試験とロンドン大学工科大学「シティ・カレッジ」で行っている傾斜実験<sup>1)</sup>の原理を利用した簡易傾斜実験および当研究室が開発した応力の一様な傾斜分割箱一面せん断試験のそれぞれの結果について、論理的な関係を目指して試験装置の改良を行ないながら研究を行なっている。<sup>2)~9)</sup>ところで、

このような比較研究を行なう際に考慮しなければならない問題に粒子配列の異方性がある。本報告では豊浦砂とガラスビーズについて、すべり面に対して堆積面が直交する供試体をつくることで、実験結果に堆積面方向の影響が

表-1 試料のGs, D<sub>50</sub>, U<sub>c</sub>一覧

|                 | 豊浦砂  | ガラスビーズ |
|-----------------|------|--------|
| G <sub>s</sub>  | 2.63 | 2.48   |
| D <sub>50</sub> | 0.24 | 2.00   |
| U <sub>c</sub>  | 2.93 | 1.00   |

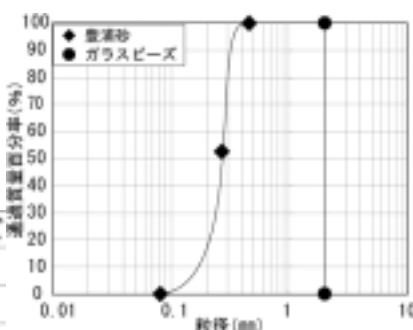


図-1 粒径過積曲線

現れないようにし、上記3つの実験結果を一度に比較検討することを試みてみた。

2. 試料 使用した試料の粒径加積曲線を図-1に示す。また、比重、平均粒径、均等係数を表-1に示す。

3. 実験装置 3-1 傾斜実験 図-2

は、簡易傾斜箱を用いた今回の実験方法の概略を示したものである。この傾斜箱による実験方法を以下に示す。

1) まずこの傾斜箱の分割部に(a)図に示すような軽量のコ型のスチレンペーパー(厚さ $t=5\text{ mm}$  : 口型の1辺を切り離したもので、この部分は後に取り付けられる)が挟められており、砂試料をこの図のように上部から空中落下法で堆積させる。この時、間隙比測定用のモールドを箱の脇に置いて、これにより間隙比の測定を行う。2) 砂の堆積後、(b)図に示すように、表面を成形して側板を取り付け、また先ほどの口型のスチレンペーパーの一边も取り付け、

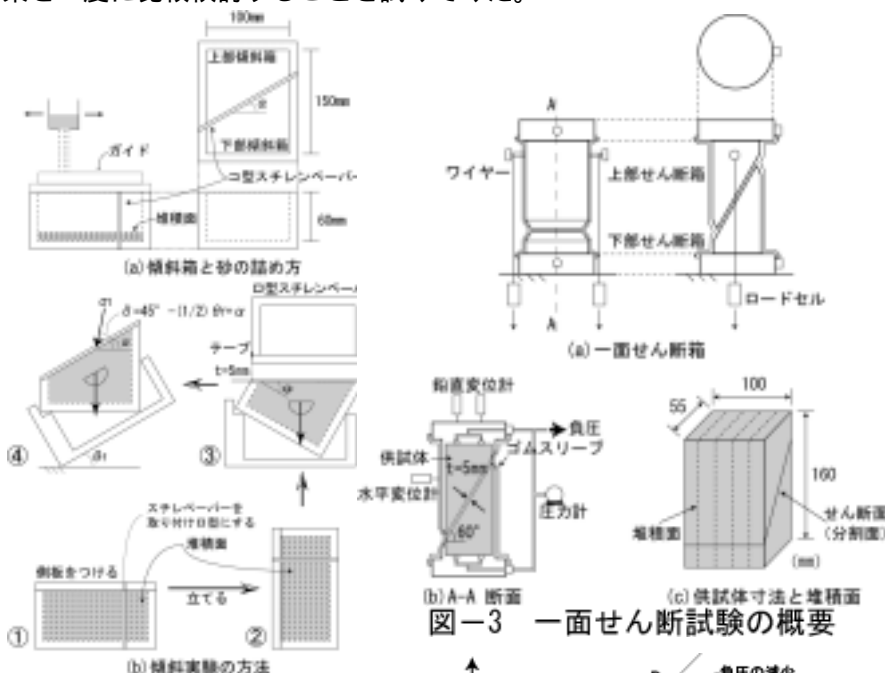


図-2 傾斜実験の概要

示すようにこの箱を立てる。なお、図には示していないが、上述の作業中この傾斜箱はずれないように器具でしっかり固定されている。3) 次にこの固定器具をはずし分割面を水平にして傾斜台の上にセットし、示すように上部を静かに持ち上げて取り除き、スチレン枠の上の表面で砂試料を成形する。4) 次に、傾斜による表面の崩

壊を防ぐため表面を霧吹きで湿らせた後、箱を傾斜させていき、スチレンペーパーが中の試料ごとすべり出した角度を測定する。

3-2 一面せん断試験 従来の一面せん断試験は、供試体の上載圧が偏心分布をし、また程度の差はあるが、せん断箱の前後端から進行性的な破壊が生じていく。そこで当研究室では、以下に述べるような一面せん断試験装置を考案した。図-3に、このせん断箱の概要((a)図、(b)図)と供試体の概要((c)図)を示す。せん断箱は、(a)、(b)図に示すように、傾斜角 $60^\circ$ で分割された上下のせん断箱で、中に(c)図の矩形供試体収められ、せん断箱ごとゴムスリーブで覆われ、負圧が载荷される。また、上箱には図のように、鉛直方向に荷重が载荷される。供試体は、試料を空中落下法でモールドに詰めた後、不飽和状態で凍結させてせん断箱に納められる。この時上記の傾斜実験と同様、堆積面の影響が現れないよう(c)図のように堆積面とすべり面が直交するようにする。せん断方法は、飽和状態にした供試体を鉛直荷重と間隙水圧をコントロールし、分割部で図-4のA→B'→Bに示すように破壊に至らせる。詳細については既報<sup>9)</sup>に記されているので割愛させていただくが、実際の実験では、通常的一面せん断試験と同様の図-4のA→Bに示す応力経路を実現している。

3-3 平面ひずみ圧縮試験 平面ひずみ圧縮試験機は、図-5(a)に示すように負圧により拘束圧 $\sigma_3$ を载荷するキーワード 砂、傾斜実験、一面せん断試験、平面ひずみ圧縮試験、せん断抵抗、異方性

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14 日本大学理工学部 土木工学科 梅津研究室 電話 03-3259-0688

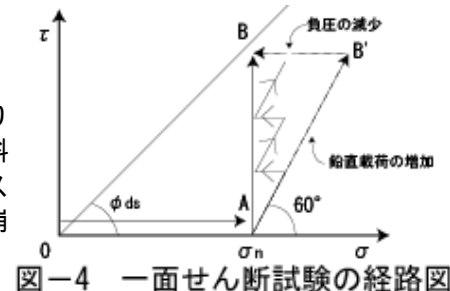


図-4 一面せん断試験の経路図

プのものである。 $\sigma_1$ の測定は通常の載荷板上部にある外部ロードセルの他に、拘束板(供試体との間には一応グリースを塗布している)による摩擦の影響のない値を測定するために、載荷板(幅  $l_{p0} = 12\text{cm}$ )に内蔵させたロードセルで載荷板中央  $l_{pi}$ (幅  $6\text{cm}$ )の荷重を測定した。詳細は既報<sup>9)</sup>の通りであるが、供試体は(b)図の $\delta = -^\circ$ に示すように堆積面とすべり面が直交するようにセットされ、 $50\text{kN/m}^2$ の負圧( $\sigma_3$ )下で平面ひずみ圧縮される。

**4. 結果と考察 4-1 応力曲線 (1)一面せん断試験** 図-6は、傾斜分割箱一面せん断試験の結果の代表例を示したもので(a),(b)の各図は豊浦砂、ガラスビーズを示している。この一面せん断試験は、応力制御なので、ピーク以降のデータはとれていないが、体積変化特性は密詰めめの正のダイレイタンス特性を示している。なお、ガラスビーズについては、粒子の径が大きいことなどが

影響し、せん断変位が大きくシフトしている。Davisの式に用いるピーク時のダイレイタンス角は、このような場合も、最終測定点とその前のデータを用いて基本的に計算している。

## (2) 平面ひずみ圧縮試験

図-7は、平面ひずみ圧縮試験の結果の代表例を上述と同様に示したものである。各図中に応力曲線は2本あるが下側のものは内部ロードセルのデータを示しており、一面との比較に用いる強度はこのデータを用いている。

**4-2 内部摩擦角** 図-8は、豊浦砂とガラスビーズの各試験の結果を示したものであるが、図には下記のDavisの式<sup>11)</sup>を用いた平面ひずみの計算値も示してある。これらについて以下に

記す。どの試料の場合も、傾斜崩壊角度が一番大きく、一面せん断試験の内部摩擦角が最も小さい。一面せん断試験の結果から計算したDavisの平面ひずみ強度は実験値とよく対応している。

また、傾斜崩壊角度が他のものと比べ大きな値になっているのは、傾斜実験の場合、他の試験に比べ極めて小さい拘束圧になっていることから、拘束圧の依存性の影響が現れていると考えられる。

$$\Phi_{psc} = \sin^{-1}(\tan \Phi_{ds} / (\cos \nu + \tan \Phi_{ds} \cdot \sin \nu))$$

ここに、 $\nu = \tan^{-1}(-dv/dh)$ : ダイレイタンス角  $dv$ ,  $dh$ : それぞれの破壊時における鉛直変位及び水平変位の増分

**5. おわりに** 以上、データ数が少ないが、3種類の試験装置による結果の比較を行なったが、今後は他の砂試料の実験も行いながら、傾斜実験と他試験との関係を拘束圧の依存性に着目し検討していきたいと思っている。

<参考文献> 1) 梅津「Silver Leighton Buzzard 砂と豊浦砂の傾斜実験」, 第30回土質工学研究発表会, 3分冊の1, pp.515~516, 平成7(1995)年7月 2) 梅津・石神, 「砂の傾斜実験における崩壊角度について」, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 第3部(A) pp.30~31, 平成8年9月 3) 梅津喜美夫, 石神亜希子, 「砂の傾斜実験と一面せん断試験」, 第32回地盤工学研究発表会 2分冊の1, pp.517~518, 平成9(1997)年7月 4) 梅津喜美夫, 石神亜希子, 「岐阜産珪砂の簡易傾斜実験と平面ひずみ圧縮試験」, 第33回地盤工学研究発表会 2分冊の1, pp.527~528, 平成10(1998)年7月 5) 梅津喜美夫・小林真・荻原有加, 「簡易傾斜箱による岐阜産珪砂4号の崩壊角度の測定」, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集 第3部(A) pp.22~23, 平成13(2001)年10月 6) 梅津・吉本, 「応力の一様性をはかった一面せん断試験」第31回地盤工学研究発表会 pp.675~676, 平成8(1996)年7月 7) 梅津・濱崎「岐阜砂6号による傾斜分割型一面せん断試験と従来型一面せん断試験の比較検討実験」土木学会第57回年次学術講演会講演概要集第3部, 平成14(2002)年8月 8) 梅津・今野「平面ひずみ圧縮試験と傾斜分割型一面せん断試験による砂の内部摩擦角の比較実験」土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, 平成15(2003)年9月 9) 梅津・森「豊浦砂とガラスビーズによる傾斜分割型一面せん断試験と平面ひずみ圧縮試験」第40回地盤工学研究発表会, 平成17(2005)年10月 10) Davis, E., H. (1968) : "Theories of plasticity and failures of soil masses" Soil Mechanics, selected topics(ed. I. K. Lee), London: Butterworth.

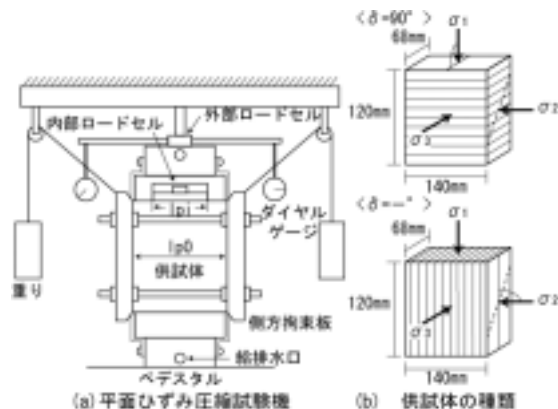


図-5 平面ひずみ圧縮試験の概要

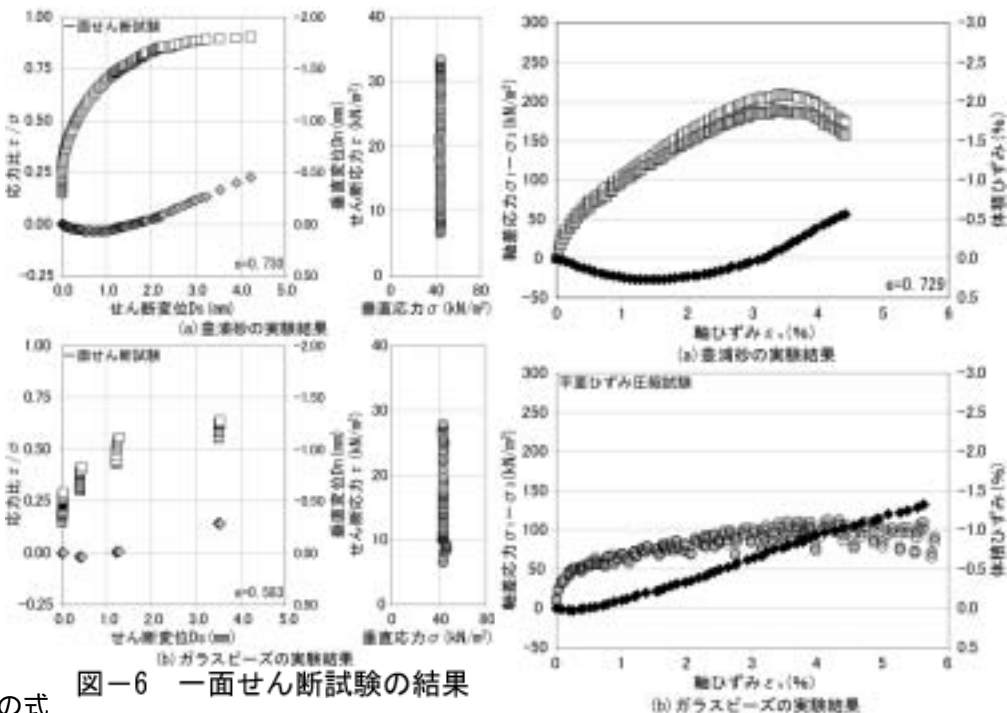


図-6 一面せん断試験の結果

図-7 平面ひずみ圧縮試験の結果

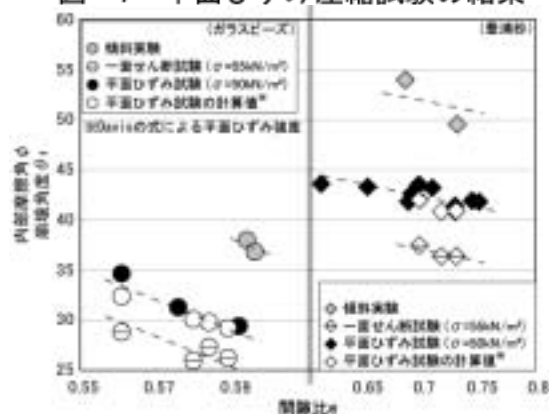


図-8 内部摩擦角と間隙比の関係