

1. はじめに

直接せん断試験は古くより広く用いられ、その利点・欠点についてもよく知られている¹⁾。しかしながら、すべての問題点が解明されているわけではなく、日米で独自に行われた一斉試験の結果にも報告されているように^{2), 3)}、直接せん断試験より得られる値が非常に大きなバラツキを示す理由も、必ずしも明瞭ではない。直接せん断時における破壊の機構についてもまだ不明な点があり、試料内部で実際にどのような破壊が起るのかを観察した例は極めて少く、英国において人工的に調製した数個のカオリン粘土の試料について一面せん断試験を行い、各段階で試料をとり出してせん断面の発生状況を調べた例が見られる程度である。直接せん断を受ける砂の挙動を知るためには、しかし、そのような手法は適用できないため、せん断中の砂の動きが連続的に観察できる両側面がガラスの大型一面せん断試験機を試作した。装置と方法は今なお改良を重ねつゝあり、今までの結果はまだ満足すべきものではないが、一連の予備実験を終えたので、実験結果とその解析についてここにその一端を報告する。

2. 試験装置と方法

試験装置の全景は写真-1に示す通りで、強化ガラスの両側面をもつ土槽（内法：長さ73cm、深さ50cm、巾15cm）の内部にピッタリ入る鋼製の上箱・下箱から成り、この中に砂の試料を任意の密度に詰めることができる。試料の上に直接置く上蓋を通じて任意の垂直荷重を加えることができる。写真の左手に見える巻取装置により、上下箱の境界面レベルで、上箱または下箱をピアノ線が水平に引張ることができ、ピアノ線の張力は左手前方に見えるヒズミ計により測定することができる。下箱はローラーの上に乘せてあって、試験は上部固定でも下部固定でも行えるようになっている。

砂の試料はガラス面に見える部分が長さ30cm、高さ20cmであって、中はガラス槽と全しく15cmである。砂粒子の動きを写真撮影により明確に捕えるため、試料を詰める際プラスチックのマーカーをガラス面に密着させて各戸位に埋めこむ方法をとっている。上箱・下箱・上下の蓋の内側にフェルト布をはさめるように装備してあって、せん断中に砂がガラス面との間から洩れることはない。

今回用いた砂は比較的粒度のよい単粒砂($D_{10}=0.17\text{mm}$, $D_{60}=0.7\text{mm}$)で、特製のホッパーから砂の雨を降らせることにより一様に詰めるよう努力した。砂の密度、垂直荷重、上部固定・下部固定など条件を変えて数種の予備実験を行ったが、せん断強度を求めるこ

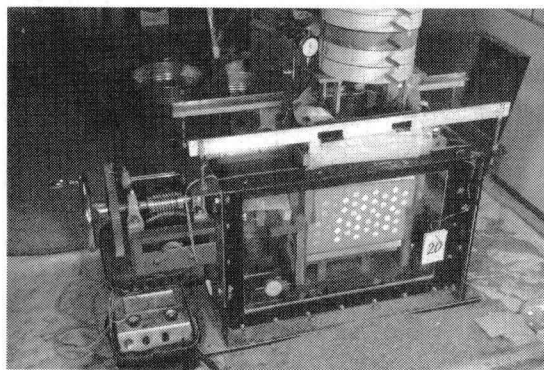


写真-1 試作した直接せん断試験機

とは現時点では問題にしていらないので、種々のマサツに関してはいっさい考慮していない。ピアノ線を巻くことにより水平変位を分しながら、1mmごとに写真を撮り、これをスライドにして拡大し、各マーカーの動きを調べた。以下に一つの実例として、間ゲキ比0.65(相対密度約60%)のゆるい砂試料に比較的小さな垂直荷重0.10 kg/cm²を与えた場合の、下部固定一面セー断試験結果について報告する。

3. 試験結果の検討

多くの場合図-1(b)に示すように5~7mmの水平変位に対して張力-変位曲線は割合顕著なピークを示している。図-1(a)は最大張力に対応する水平変位5mmのときと、与えた最大水平変位20mmのときにおける砂の動きをそれぞれ実線および点線で示したものである。これはマーカーの動きを連ねたものであって、その位置は黒点によって示されている。この図に見られるように、概して下部固定の場合は灰へ上部を移動させると、上箱内に灰上方に向う動きが起る。しかし、これは箱の水平移動を差引いて上箱を基準に考えると、実際は右上方に向う砂粒子の動きであることがわかる。事実、上蓋は右側が持ち上げられ、移動方向に対して前傾する結果になっている。この例ではセー断ゾーンはかなり複雑な広範囲にわたっているが、砂の密度がよるとゾーンの規模は限定されてくるようである。また結締を下すわけではないが、下箱内では小規模な砂粒子の回転運動が起るよう認められる。上部固定で下箱を灰へ引張った場合については、上箱内で灰上に向うかなり大きな砂の動きが起り、灰側で上蓋が持ち上げられる傾向が顕著に見られる。すなわち相対的には下部固定の場合と全く同じ現象であるが、下箱の水平移動にともない、上箱内一部に砂粒子の回転運動が発生するよう思われる。上部・下部いずれも固定しようとも、砂粒子の動きは拘束の小さい上箱内においてより活発である。

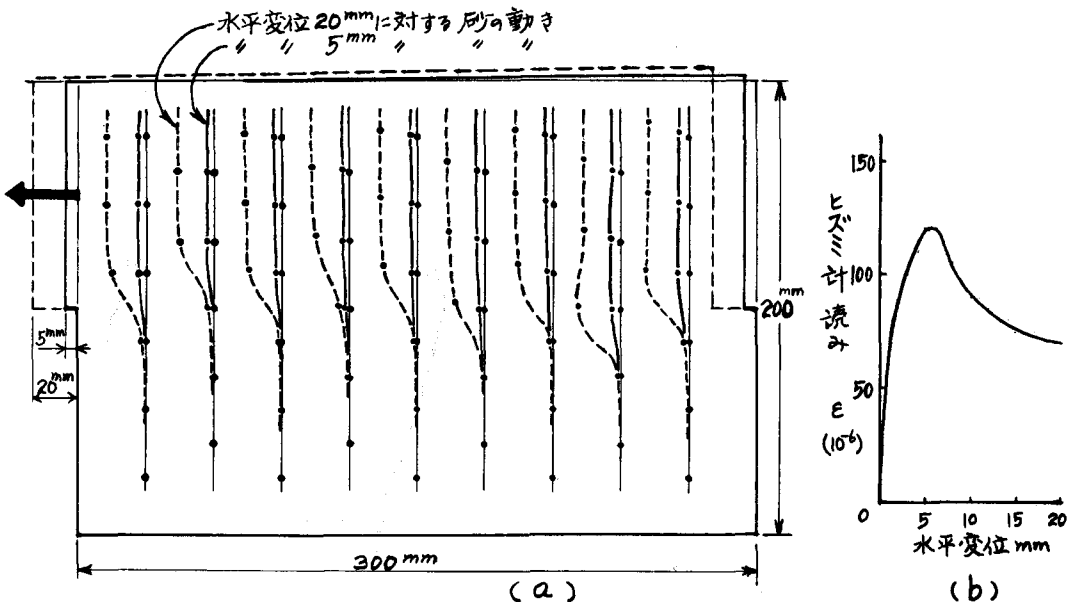


図-1 ゆるい砂の一面セー断試験結果

プラスチックのマーカーは、直径16mmの円板の裏側に直径3mm、長さ8mmの突起があるゴルフ用のグリーン・マーカーをそのまま使用し、円板面をガラス面に密着させて砂中に設置した。実験中の観察と結果の検討によれば、マーカーの動きが砂粒子の動きに比べ若干遅れた形跡があるが、その差は僅かなものと考えられる。因みに図-1に示した例では、与えた水平変位5mm、20mmに対しマーカーの最大水平変位量としては、それぞれ4.83mm、19.67mmが測定されている。現在この円板部分を小さく表面をより滑らかにする試みを行っているが、このような改良を行えばかなり精度の高い測定ができるものと考えている。毎年来ロスコーラの開発してきた砂中に埋め込んだ鉛弾をX線で透視・追跡するという方法に比べれば、極めて原始的なものではあるが、上記の方法でも精度の高い測定が可能であると期待している。近着のジオテフニークにもX線を用いて砂の受効破壊に至るせん断ヒズミの分布⁽¹⁾を求めた例が発表されているが、本報文では今迄に論じられていない間ゲキ比の変化とその分布について考察することにする。

4. 間ゲキ比の変化

ガラス面と砂との間のマサツは精々長度と考えるので、マーカーの動きが砂粒子の動きを示すものであるとすれば、マーカーの移動量から間ゲキ比の変化量を計算することが出来る。図-2において、点A, B, CがそれぞれA', B', C'に移動した場合、これらの点の原位置 (x_i, y_i) および移動量 (u_i, v_i) がわかっているれば、 $\triangle ABC$ の面積 T および $\triangle A'B'C'$ に変形した際に生ずる面積の変化分 ΔT は、次のように表わされる。

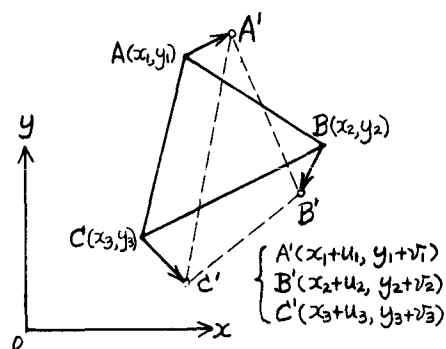


図-2 間ゲキ比の計算

$$T = \triangle ABC = \frac{1}{2} \{ (y_3 - y_2)x_1 + (y_1 - y_3)x_2 + (y_2 - y_1)x_3 \} \quad (1)$$

$$\Delta T = \triangle A'B'C' - \triangle ABC = \frac{1}{2} \{ (v_3 - v_2)x_1 + u_1 + (v_1 - v_3)x_2 + u_2 + (v_2 - v_1)x_3 + u_3 + (y_3 - y_2)u_1 + (y_1 - y_3)u_2 + (y_2 - y_1)u_3 \} \quad (2)$$

三角形を充分小さくすれば $\triangle ABC$ から $\triangle A'B'C'$ へと変形する間に砂粒子の量の増減はないと考える。ガラス面に垂直な方向の試料の厚さを t とし、その方向では砂粒子は全く動きを示すものとする。三角形の変形前後の間ゲキ比 e, e' はそれぞれ次のように表わされる。

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\triangle ABC \cdot t - V_s}{V_s}, \quad e' = \frac{V_v'}{V_s} = \frac{\triangle A'B'C' \cdot t - V_s}{V_s}$$

ただし、 V_s は三角形柱内の砂粒子の体積、 V_v, V_v' は変形前後の空ゲキの体積とする。従て間ゲキ比の変化量 Δe は

$$\Delta e = e' - e = \frac{\Delta T}{V_s} t = \frac{\Delta T}{T} (1 + e) \quad (3)$$

試験開始時の e は予め測定されているので、図-1(a)に示したようなデータを用いれば、(1)(2)式により $T, \Delta T$ の計算ができ、任意の時刻における試料内部の変化 Δe が(3)式により求まる。

このようにして図-19データにつき求めた例が、図-3に示した間ゲキ比の変化の分布であるが、予備実験ではマーカークの配置もまずく、この結果は満足すべきものではない。なお、図中の数字は各三角形内の間ゲキ比の増減 Δe 、ハッチは増加(+)した部分を示している。

5. おわりに

現在は予備実験を終えた段階にすぎず、本問題に関する結論を下すわけにはゆかないが、現時点においては以下のことが述べられる。

- 試作した両面ガラスの一面セリ断試験機により、直接セリ断を受ける砂試料の内部に起る変化が直接観察できる。砂中に埋めこんだプラスチックのマーカークは忠実に砂の動きを示すものと期待できる。
- マーカークの改良と配置によっては、充分小さな三角形排列を設けることも可能であるから、信頼できる精度をもって試料内部の局所的な間ゲキ比の変化の分布をはじめ、セリ断ヒズミの分布なども、任意の時刻において、比較的容易に求めることができる。
- ここに述べた方法は、ガラス側面をもつ種々の平面ヒズミ問題の定量的な観測実験および解析に適用可能である。

おわりに実験・計算については、本学助多加賀宗彦君、今大学院学生白鳥仁志君をはじめ数人の学生諸君の盡力を得た。ここに附記して感謝の意を表す。

6. 参考文献

- 1) 例えは土壌工学会編(1969)「土壌試験法」pp. 361-388
- 2) 土壌工学会(1968)「土のセリ断試験法に関する基礎的研究」
- 3) Lee, K.L. & Singh, A. (1968) 'Report of the Direct Shear, Comparative Study' L.A. Sec., ASCE
- 4) Morgenstern, N.R. & Tchalenko, J.S. (1967) 'Microscopic Structures in Kaolin Subjected to Direct Shear' Géotechnique 17-4
- 5) Roscoe, K.H., Arthur, J.F.R. & James, R.G. (1963) 'Determination of Strains in Soils by an X-ray method' Civ. Engng Publ. Wks Rev. 58
- 6) James, R.G. & Bransby, P.L. 'Experimental & Theoretical Investigations of a Passive Earth Pressure Problem' (1970) Géotechnique 20-1

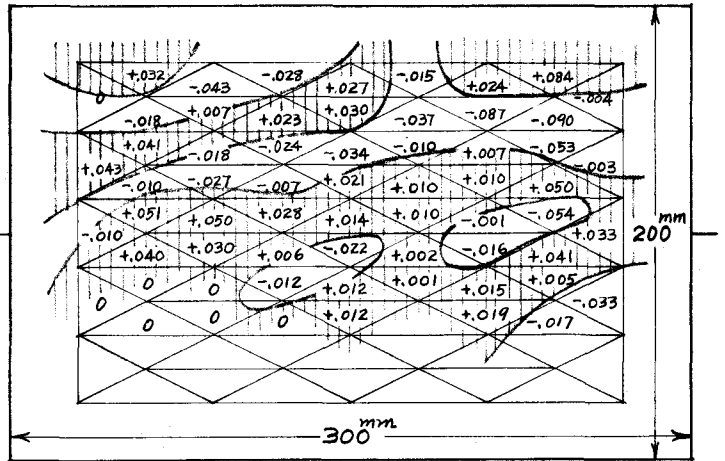


図-3 水平変位5mmに対する間ゲキ比の変化

(1970年7月30日)