

リング式せん断試験機の試作と2, 3の実験

日本道路公団 正会員 〇大坪 毅
 広島大学 正会員 日下部 治
 東京電機大学 正会員 山口 柏樹

1. はじめに

リング式せん断試験機を試作し、砂、粘土試料について予備的な実験を行ったのでその結果の一部を報告する。今後の本試験の利用法について本試験に熟達された諸先輩のご意見を賜りたい。

2. リング式せん断試験機の製作

リング式せん断試験は土質工学会の土質試験法では標準化されていない試験法で、試験機も標準化はされていない。進行性破壊現象の基礎研究の一部として新たに試作するに当たり既往のリング式せん断試験機について文献を通して調査を行った。その結果、履歴の明確な過圧密粘土試料のせん断試験を実施する点を考慮して、愛媛大学の試験機に類似の試験機を作成方針とした。主な性能は以下の通りである。容器材質：ステンレス、容器寸法：内径10 cm、外径15 cm、試料圧密初期高さ9.0 cm、せん断時試料高さ2.5 cm、せん断面位置 試料下端より1.25 cm、最大上載荷重：1000 kgf、最大せん断荷重：2000 kgf、せん断速度：0.109-0.0011 mm/min。試料容器上下部面には深さ0.5 mmの格子上の凹凸を設け、試料のすべり防止の役割をおっている。圧密時の排水のため、上載圧板に直径2.25 mmの排水口が20ヶ所、下部試料容器底部に直径1.1 mmのポーラスメタルが4ヶ所設けた。この状態では、せん断時には試料下部は非排水条件に設定できるが、上部は上載圧板の状態のままである。せん断断面を規定し、さらに上下拘束リングの摩擦低減のために、上下の試料容器の間にせん断層厚に対応するギャップを設ける必要があるが、今回の設計では0.1 mmとした。

3. 豊浦砂によるキャリブレーション試験

試作された試験機の性能を調べる為に乾燥豊浦砂を用いて、間隙比および上載圧を変化させて一連の実験を行った。せん断速度は1 mm/minで一定とした。図-1はピーク時摩擦角と初期間隙比の関係である。間隙比の増加につれ摩擦角が減少しており、龍岡らの豊浦砂の3軸、平面ひずみ圧縮試験結果とほぼ同じ傾向である。これらのデータをみると今回試作したリング式せん断試験機は少なくとも乾燥砂については妥当な結果を与えていると考えられる。

リング式せん断試験では測定された鉛直変位量の取扱いに注意が必要で、せん断はリングギャップ面付近のみに集中しているためせん断に伴う体積膨張は試料全体の膨張とは考えられない。限界状態の概念からは初期間隙比によらず、残留時の間隙比は同一になると考えられ、せん断層は豊浦砂の平均粒径0.2 mmの20倍程度の範囲で体積変形が生じているとして、せん断層厚を4-6 mmと仮定すると上載圧0.75-2.0 kgf/cm²の範囲で残留間隙比がほぼ一定値に収束することがわかった。これはせん断層厚が粒子20-30粒に対応し16粒とするVardoulakisの観察にも符号する。

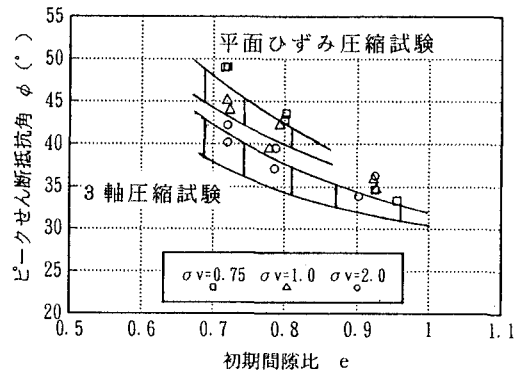


図-1 ピークせん断抵抗角-初期間隙比

4. カオリン粘土試料による試験

斜面の進行性破壊を調べる為に宇都宮大学で別途行われた遠心実験結果を解釈するために同一試料によるリング式せん断試験を実施した。実験に用いたのはカオリン粘土である。その物理特性は $G_s = 2.65$ 、 $LL = 84\%$ 、 $PL = 36.6\%$ 、 $Ip = 47.4$ である。スラリー状から容器内で最大荷重 2.0 kgf/cm^2 で圧密し3 t法で求められる一次圧密終了以上の時間放置した。その後、膨張過程に移り、所定の過圧密比($OCR = 1, 3, 6, 10$)となるように载荷圧力を減じ、膨張量の変化の停止をまってせん断過程に移した。せん断試験直前まで約5日間要した。せん断速度は、 1 mm/min とし、 38.15 cm の変位量まで測定した。なおせん断面が指定場所で発生しているのは、ソーメンを挿入し、その移動で確認するとともに、試験終了後、供試体側面にせん断面の発生が確認され、このせん断面は試料乾燥により顕著に現れた。図-2に示す変位量の増加に伴うせん断強度の発揮のデータの例を示す。 $OCR = 1$ の試料では、変位量 19.6 mm までピークが見られず、その後も軟化傾向は見られないのに対して、 $OCR = 3, 6, 10$ ではいずれも $5-6 \text{ mm}$ 程度の変位量でピークに達し、その後明瞭な軟化傾向を示している。しかし 30 cm 以上の変位の後も十分残留には到達していない。

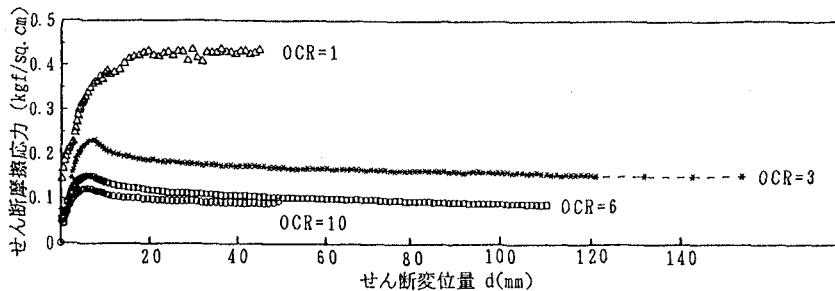


図-2 せん断応力-せん断変位量

図-3にピーク時および残留時における強度をせん断応力-鉛直応力の図に示した。ここで $OCR = 1$ の強度が限界状態に達しているとすれば、 $OCR = 6, 10$ の残留時の強度は、限界状態線よりも上部に位置しており、Skemptonの言う粒子の配向性が 38 mm 程度のせん断変位では十分進行していないことを伺わせている。

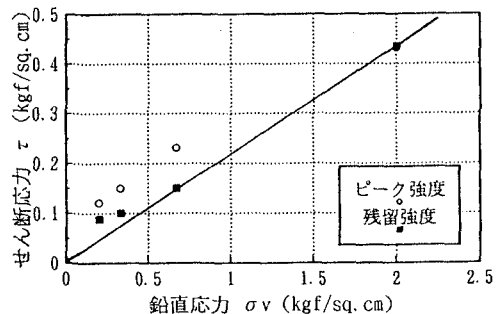


図-3 せん断応力-鉛直応力

4. 実験結果のまとめ

リング式せん断試験機を試作し、乾燥豊浦砂およびカオリン粘土を用いてその適用性を検討した。その結果は以下の3点に要約されよう。

(1) 試作された試験機から得られた結果は従来からの研究成果と整合性のとれたものであることが、確認され、試験機の有用性が示された。しかしせん断時一部試料がギャップから流出するという困難が存在することが確認された。(2) 限界状態力学の概念を用いて豊浦砂のせん断層厚さを推定すると平均粒径の20倍程度となり、従前の観察結果に近い結果となった。(3) 過圧密比が3以上のカオリン粘土試料では、ピーク強度を発揮するには $5-6 \text{ mm}$ の変位量が必要で、さらに残留状態に達するには 40 mm 以上の変位量が必要であることが示唆された。これは縮小模型による進行性破壊現象の解釈への注意点でもある。

なお本実験は科学研究費補助金(一般研究(B))土構造物の安定性と進行性破壊の関連性に関する研究代表者(山口柏樹)の援助を得て行ったことを付記する。