

低拘束圧単純せん断試験機の開発と単調載荷排水せん断試験への適用

中央大学理工学部 学生員 岩本 一平
 同上 正会員 國生 剛治
 同上 学生員 古尾谷幸史

1. はじめに

これまで、土の排水条件でのダイレイタンスー現象や沈下特性に関して数多くの研究が行われてきた。そしてその多くは 25 ~ 50kPa 以上の拘束圧をかけたせん断試験である。それは従来の試験機では、構造上あまりに低い拘束圧はかけにくいという事情による。しかし、特に砂礫のような摩擦性材料では表層地盤での破壊や変形が問題になることが多く、低拘束圧下での土の力学的性質も非常に重要である。また低拘束圧下での物性値は 1G 下の模型実験結果の解釈あるいは解析に適用できるという意味でも有益であるが、あまり多くの研究は行われていない。地盤表面付近における上載圧は極端に低く、そのような低拘束圧下での土の挙動を詳しく調べるためには従来の試験機とは構造の異なる、極めて低い拘束圧をかけることのできる試験機を用いることが必要である。そこで本研究では約 1kPa ~ 10kPa という低拘束圧下でせん断応力を作用させることができる新型のせん断試験機を開発し、それを用いた排水条件での単調載荷試験を行った。ここでは前回の繰り返し載荷試験²⁾につづいて、単調載荷試験について述べる。

2. 試験装置

図 1、図 2 に本研究で用いている単純せん断型の低拘束圧せん断試験機の概要を示す。この試験機では供試体上部の載荷盤とその上にのせたおもりの自重のみで、特に他の載荷装置を用いずにせん断試験を行う。回転可能なテーブル(以下、回転底板と記述する)にペDESTAL、供試体、載荷盤及びおもりを設置し、回転底板を徐々に傾けていくことにより載荷盤及びおもりにかかる重力の斜面に平行な成分がせん断力 τ として供試体に作用する。回転底板の傾斜角を θ とし、 $\theta = 0$ の時の直応力を σ_0' とすれば、 $\tau = \sigma_0' \sin \theta$ 、直応力は $\sigma' = \sigma_0' \cos \theta$ であり、 θ は回転底板上に設置した加速度計により測定できる。つまり、勾配の変化によって、せん断応力とともに、直応力も変化することになる。この点はこの試験機の短所であるが、それと引き替えに、斜面角 θ さえ正確に計測しておけば、微小応力下の高精度のせん断試験が可能である点はこの試験機の大きな特徴といえる。試料に直応力とせん断応力をなるべく一様に加えるため、載荷盤やおもりなどの重心は試料の中心に一致させ、回転中心も試料中心に一致させている。 σ_0' はおもりの取り外しにより 0.62kPa から 11.6kPa まで調整できる。また、回転底板を交差的に傾斜させることにより、繰り返し載荷試験を行うことも可能であるが、今回は試験機の基本的な性能を把握することに重点を置き、排水条件での一方向単調載荷試験を行った。

3. 試験方法

今回の試験の試料には豊浦標準砂を用いた。供試体は高さ 40mm、直径 200mm の円柱形で、作成時には試料の分級を最小限に抑えるため、5 層に分けウェットタンピング法で締め固めている。砂を詰める際にはアクリル

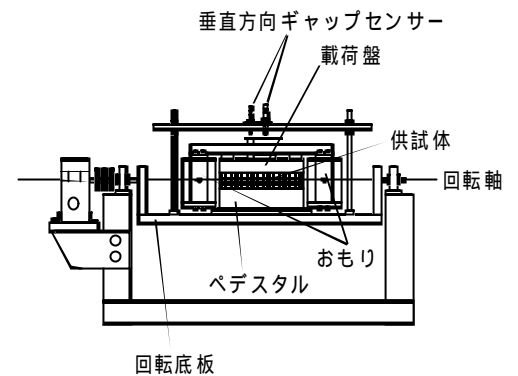


図 1 低拘束圧せん断試験機詳細図

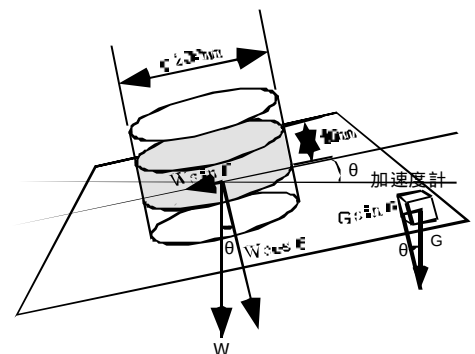


図 2 低拘束圧せん断試験機概念図

キーワード：拘束圧、単純せん断、ダイレイタンスー

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL03-3817-1799 FAX03-3817-1803

製モールドを使用して、砂を詰める前にメンブレンとモールドの間に高さ約 10mm、板厚 0.1mm のリン青銅板のリング（以下、拘束リングと記述する）を 5 枚、縦に並べて挟んでおく。土を詰めてモールドを解体した後は、拘束リングが内側からの土圧に対応し供試体側面を支える。拘束リングを 5 枚に分けているのは、試験時において拘束リングのせん断変形に対する抵抗を最小限にしたいためである。上述のように σ_0' は調整可能であるが現在は 9.4kPa に設定して試験を行っている。せん断試験時には排水条件で回転底板を傾け、載荷盤とおもりにかかる重力の斜面方向分力によりせん断力を加える。その際の垂直変位を試験機上部に設置した 2 つの垂直ギャップセンサーで計測し垂直ひずみを算出する。また、せん断変位を水平方向の 1 つのギャップセンサーで計測しせん断ひずみを算出する。そして、その載荷における排水量を電子ばかりによって計測することで体積ひずみを算出している。回転底板の回転角速度は、十分排水が行われるように $2.1 \times 10^{-3} \text{rad/s}$ と可能な限り低いものとした。図 3 に本試験における応力比(せん断応力/拘束圧)の時刻歴を示す。

4. 試験結果と考察

図 4 は相対密度(Dr)の異なる 3 本の試験結果のせん断応力-せん断ひずみ関係である。縦軸を応力比としているのは、上述のような試験中の拘束圧の変化も考慮に入れるためである。図中、上から Dr=47%、30%、8% の供試体であるが、密なものほど大きな強度を有していることがわかる。Dr=8% の供試体は応力比約 0.26 の時点でせん断ひずみが急激に増加し破壊した。この点以降の急激なひずみ増加においては排水条件とは見なせないが、強度増加は全く見られず、少なくともせん断ひずみが 4% 程度までは拘束リングが強度に与える影響は少ないことが読み取れる。Dr=47%、30% の供試体に関してはせん断ひずみが 4% を超えても破壊挙動は見られず、破壊点は応力比でそれぞれ 1.13 と 0.76 以上であることがわかる。図 5 は試験中におけるせん断ひずみと垂直ひずみあるいは体積ひずみの関係である。Dr=47% と 30% の供試体は初期には収縮傾向を示した後、膨張に転じている。また Dr=8% の供試体は他の 2 本と比べ大きく収縮し、破壊した。この事は従来の通常の拘束圧での試験でも得られている妥当な結果であるが、このようなダイレイタンシーによる挙動がより顕著に表れることが低拘束圧単純せん断試験の特徴のひとつと言える。しかし体積ひずみは同じ供試体の垂直ひずみと比較すると変化の絶対値が小さく、収縮から膨張に転じるピークの遅れが見られる。よってこの試験では、排水が遅れ図 4 は排水条件と非排水条件の中間的な強度特性を示している可能性もある。

5. まとめ

低拘束圧単純せん断試験機による豊浦標準砂を用いた単調載荷排水せん断試験を行い、低拘束圧下における応力比-せん断ひずみ関係とダイレイタンシー関係を調べた。その結果、低拘束圧下において、相対密度 Dr の砂の強度、体積変化に与える影響は極めて大きいことが示された。しかし、今回の試験では、試験中排水が遅れたため排水条件から外れた強度特性を示した可能性もあり、今後の検討が必要である。＜参考文献＞1) 古尾谷幸史、國生剛治、岩本一平：「低拘束圧試験機の開発とそれを用いた砂礫の沈下特性」、第 28 回関東支部技術研究発表会講演概要集、

pp.420-421、2000 2) 國生剛治、岩本一平、古尾谷幸史：「低拘束圧単純せん断試験機の開発」、第 36 回地盤工学研究発表会投稿中

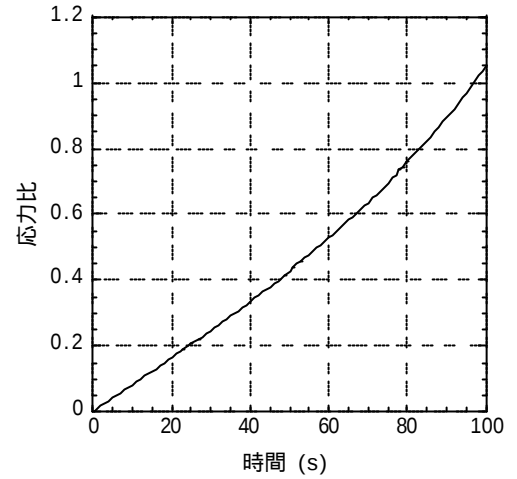


図 3 応力比時刻歴

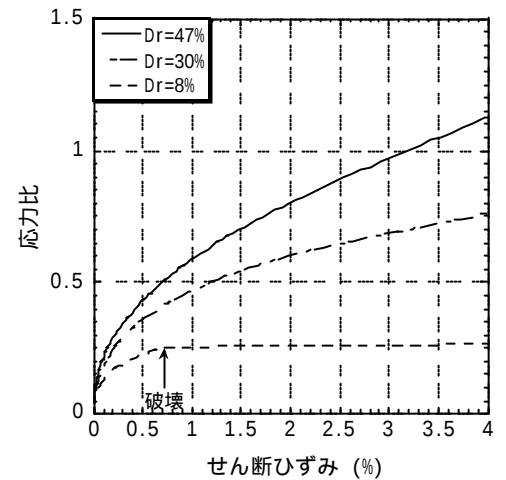


図 4 応力比-せん断ひずみ関係

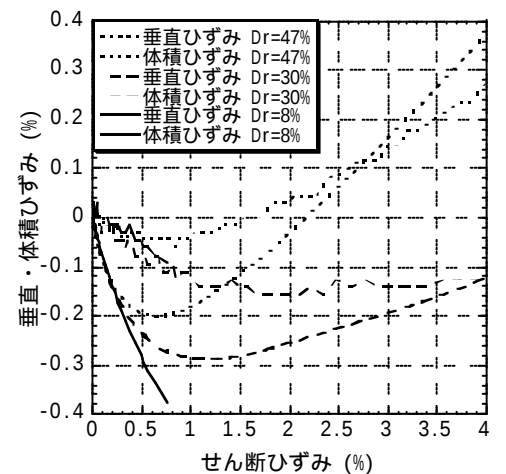


図 5 せん断ひずみ-垂直・体積ひずみ関係