低拘束圧下における砂のせん断特性
－　側方拘束方法が低拘束圧下での砂のせん断特性に及ぼす影響の補正　－

中央大学理工学部土木工学科　正会員　　國生　剛治
中央大学理工学部土木工学科　学生会員　　佐藤　拓
中央大学理工学部土木工学科　学生会員　○田中　健太郎

1.はじめに

実地盤表層部や重力場での模型地盤の解析において、低拘束圧下での砂のせん断特性の解明は非常に重要であるが、低拘束圧下でのせん断試験を精度良く行うのは容易でなく、その例も少ない。そこで、載荷装置に機械的な問題が極力少なくなるように考案された回転型の低拘束圧単純せん断試験装置を用いて 2.0kPa～9.3kPa という極めて低い拘束圧下での飽和砂の単調載荷排水せん断試験を行い、低拘束圧下での砂の強度特性に与える相対密度や粒径などの影響について検討してきた。その中で、供試体側方を拘束しているメンブレンや拘束リングが低拘束圧下での砂のせん断特性に大きな影響を及ぼしている可能性がわかった。そこで今回は、低拘束圧下での砂のせん断特性をより正確に把握するため、2 通りの方法でメンブレンや拘束リングのせん断抵抗を計測し、強度特性をその結果により補正することを試みた。

2.試験装置及び試験方法

図-1 は回転型の低拘束圧単純せん断試験装置の載荷概念図である[1)]。この試験装置では、回転底板を徐々に傾けることで載荷盤及びおもりにかかる重力の傾斜面に平行な成分がせん断応力τとして供試体に作用する。回転底板の傾斜角をθ、θ＝0 の時の直応力をσ_0とすれば、せん断応力は$\tau=\sigma_0\sin\theta$、直応力は$\sigma=\sigma_0\cos\theta$となる。角度θは、回転底板上の定格容量±1G の加速度計により測定する。本試験装置は応力制御型で、傾斜角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。せん断ひずみは供試体側面に取り付けたギャップセンサーから算出し、垂直ひずみは供試体上部に取り付けた 2 つのギャップセンサーの平均を取ることにより算出する。供試体の側方は、外径 220㎜ 内径 200㎜ のアクリル製拘束リングを 9 枚重ねることで拘束している。載荷速度は 0.000265(rad/s)としている。また、実験には豊浦砂を用いた。

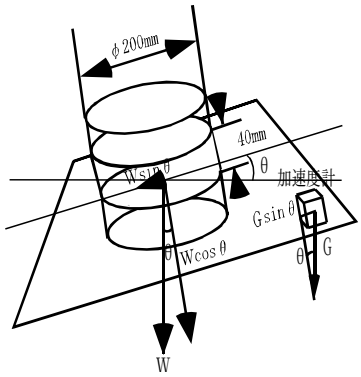


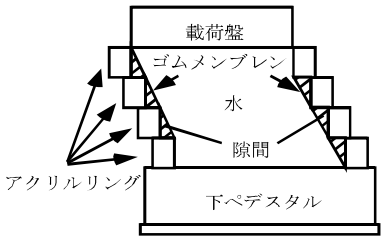
図-1 低拘束圧せん断試験装置載荷概念図

3.側方拘束方法によるせん断抵抗の算出方法

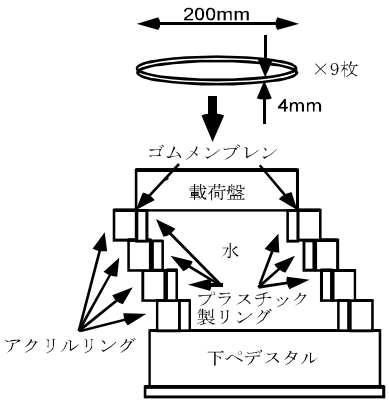
側方拘束方法により生じるせん断抵抗を計測するために、砂供試体に代わり水を用いて補正試験を行ったが、その際、以下の 2 通りの手法を用いた。

手法 1　通常通り設置作業を行った後、供試体部分を水で満たし、砂供試体の時と同様に傾け、せん断する。

手法 2　手法 1 の場合、載荷中に図-2(a)のようにメンブレンとアクリル製拘束リングの間に隙間ができる可能性がある。そこで厚さ 0.3㎜ のプラスチックリング 9 枚を図-2(b)のようにメンブレン内側から張り、メンブレンをアクリル製拘束リングに密着させる。その後供試体部分を水で満たし、砂供試体の時と同様に傾ける。



(a) 手法 1-水のみ



(b) 手法 2-プラスチックリング使用

図-2 載荷中の試験装置断面の概念図（実際にはリングは 9 枚）

実際の砂供試体の場合、ゴムメンブレンは手法 1 と手法 2 の中間的状態にあるものと考えられ、両手法を試みてみた。

4.試験結果及び考察

図-3 及び図-4 は、手法 1 及び手法 2 で測定したせん断抵抗を示した図である。初期直応力 9.3kPa 下では両者に明確

キーワード　：　拘束圧　相対密度　せん断強度
連絡先　　：　中央大学理工学部土木工学科土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel03-3817-1799

な差は見られないのに対し、初期直応力2.0kPa下ではせん断ひずみ30%で手法2の方が手法1の2倍程度の応力比を示している。このことから、拘束圧が低いほど側方拘束方法の影響を大きく受けることがわかる。

次に図-3、図-4の結果を用いて砂の試験結果を補正する。図-5・図-6・図-7は、初期直応力2.0kPa下において補正する前と2種類の方法で補正した後の、応力比とせん断ひずみの関係を示した図である。図-5の補正前の結果では、せん断ひずみの増加に伴い応力比が一定の値をとらず緩やかに増加している。図-6の手法1で補正した後の結果は、密な供試体でせん断ひずみの増加に伴い応力比がほぼ一定となる箇所が見られるが、緩詰めの供試体では見られなかった。また図-7の手法2で補正した後の結果、応力制御試験であるにもかかわらず、密な供試体において応力比が最大値をとった後に減少する傾向が見られた。このことから、手法2の補正では側方拘束条件によるせん断抵抗を過大評価している可能性があると考えられる。

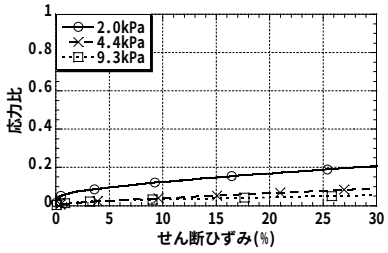


図-3 応力比-せん断ひずみ関係
手法1-水のみ

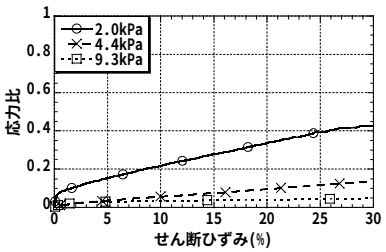


図-4 応力比-せん断ひずみ関係
手法2 -プラスチックリング使用

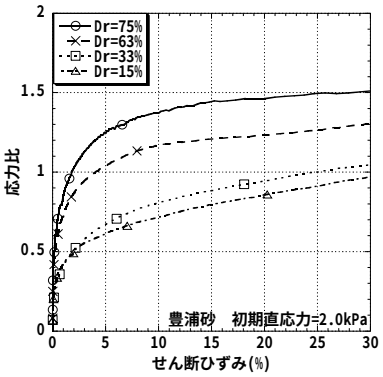


図-5 応力比-せん断ひずみ関係
（補正前）

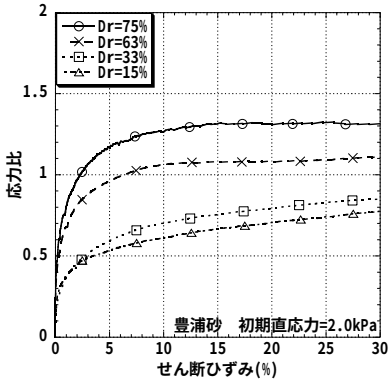


図-6 応力比-せん断ひずみ関係
（手法1で補正）

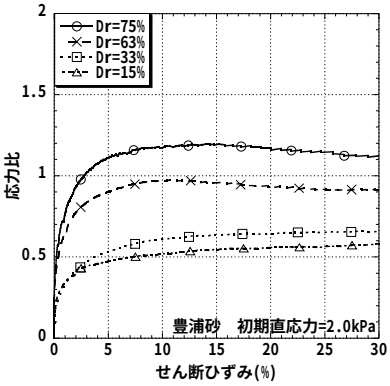


図-7 応力比-せん断ひずみ関係
（手法2で補正）

図-8は、手法1で整した後の内部摩擦角と相対密度の関係を示した図である。内部摩擦角は、粘着力を0と考え、図-7の各グラフにおける最大応力比を破壊応力比とした。この図から、拘束圧の低下と共に内部摩擦角が増加していることがわかる。また、試験条件に違いはあるものの、Stein Sture等による宇宙空間での極低拘束圧下における三軸圧縮試験結果でもこれに似た傾向が伺えた[2)]。

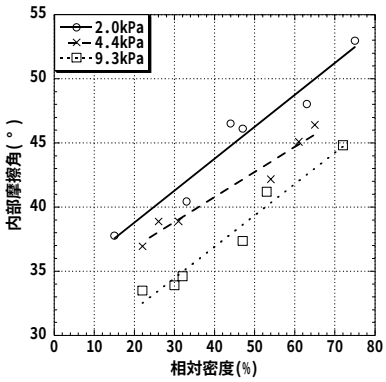


図-8 内部摩擦角-相対密度関係
（手法1で補正）

5.まとめ

- 砂供試体の代わりに水を用いた補正試験を行うことにより、側方拘束方法が砂のせん断特性に大きな影響を及ぼしていることが確認できた。
- 水とプラスチックリングを用いた補正方法では、側方拘束方法によるせん断抵抗を過大評価する可能性がある。補正した応力比-せん断ひずみ関係から見ても、水のみの補正の方が妥当と判断される。
- 低拘束圧下では、初期直応力の低下と共に内部摩擦角は増加する。

＜参考文献＞

1) 國生剛治･佐藤拓･緒方慎吾：低拘束圧下での拘束圧の変化が砂の排水せん断特性に与える影響，第38回地盤工学研究発表会 平成15年度発表講演集，pp.399～400

2) Stein Sture: Mechanics of Granular Materials at Low Effective Stresses, ASCE, Journal of Aerospace Engineering, vol.11, pp.67～72, 1998