

室内試験に基づく土層強度検査棒と三軸試験によるせん断強度定数の比較

山口大学大学院 学生会員 ○神山 惇
山口大学大学院 正会員 鈴木素之
ケイズラブ 正会員 河内義文

表-1 土試料の物理特性

土試料	採取深さ (m)	ρ_s (g/cm ³)	I_p	礫分 (%)	砂分 (%)	細粒分 (%)
カオリン	—	2.627	37.5	—	—	100
まさ土	—	2.625	—	46.0	48.8	5.2
堤体土1	2.5~3.0	2.706	15	19.4	37.2	49.3
堤体土2	11.0~12.0	2.691	23.3	1.9	49.5	48.6
堤体土3	10.0~11.0	2.648	35.2	2.3	46.1	51.6

1.はじめに ため池堤体などの盛土の強度調査には、原位置から採取した不攪乱試料に対する三軸せん断試験が実施されるケースがある。しかし、そもそもサンプリングが困難であることや多大な時間と費用が発生することから、それを実施するのは容易ではない。

そこで、原位置の強度定数を容易に求める方法として土層強度検査棒(土検棒)の利用が考えられる。しかし、現時点では土検棒により得られたせん断強度定数の排水条件や値の妥当性は不明確である。そこで、本研究では、物性が一定かつ地盤の不均質性を排除した模型地盤で試験の妥当性を検証した。室内で粘土および砂を再構成した模型地盤で土検棒のベーンコーンせん断試験を行い、ベーンの回転速度が試験結果に及ぼす影響を調べた。また、ため池堤体土を突固め再構成した模型地盤に対してもベーンコーンせん断試験を行い、その結果を不攪乱試料の三軸圧縮試験結果と比較した。

2. 試験概要

2.1 土試料および土検棒 本試験にはカオリン、まさ土および3種類のため池堤体土1~3を用いた。表-1に各試料の物理特性を示す。また、土検棒は2つの試験が実施でき、1つ目は、先端コーン付きの細いロッドを人力で押し込み、土層強度や土層深を簡易に測定することができる(土検棒貫入試験と称す)。2つ目は、先端部をベーンコーンに交換して、ロッドに押し込み力を加えながら回転させることにより、原位置における内部摩擦角 ϕ_{dk}' と粘着力 c_{dk}' を測定することができる(ベーンコーンせん断試験と称す)。

2.2 模型地盤の作製と土検棒試験方法

2.2.1 カオリン 液性限界の2倍に調整したカオリンを直径20cm、高さ50cmの円筒容器に流し込み、98kPaで予圧密した。その後、土検棒貫入試験を行い、円筒上面から深度15cmの計測孔を形成した後、周面摩擦抵抗を計測し、押し込み力0.7~5.3kPaの下で、写真-1のようにベーンコーンせん断試験を行った。回転速度は標準的な値60°/min¹⁾

とそれよりも速い360°/minの2通りとした。また、上記の予圧密試料から切り出した直径6cm、高さ2cmの供試体に対して、垂直応力10~40kPaの下で圧密定圧一面せん断試験を実施した。せん断速度は0.02mm/minとした。

2.2.2 まさ土 まさ土に対する試験条件は、締固め度が90%以上になるように、締固め含水比をそれぞれ最適含水比 $w_{opt}=10.8\%$ 、最適含水比より乾燥側 $w_{dry}=1.0\%$ および湿潤側 $w_{wet}=19.0\%$ の3通りで突固め、直径17.5cm、高さ40cmの模型地盤を形成した。続いて、この模型地盤に対して簡易動的コーン貫入試験を行い、深度30cmの計測孔を形成した。周面摩擦抵抗の計測後、計測孔に対して押し込み力7.5~31.5kPaを作用させた状態でベーンコーンせん断試験を行い、 ϕ_{dk}' と c_{dk}' を決定した。まさ土の場合、回転速度60, 180, 360°/minの3通りとした。

2.2.3 ため池堤体土 ため池堤体土試料は山口県内に存在する3箇所のため池から採取した。直径10cm、高さ13cmのモールド内において、採取された不攪乱試料と同一の初期状態量となるように突固め、模型地盤を作製した。土検棒貫入試験を行い、深度5cmの計測孔を形成した後、堤体土1では押し込み力0.7~18.7kPa、堤体土2および3では押し込み力3.1~12.7kPaを作用させてベーンコーンせん断試験を行った。堤体土の場合には回転速度60, 360°/minの2通りとした。

3. 試験結果と考察 本研究では、以下の経験式法¹⁾により垂直応力 σ とせん断応力 τ を求め、 ϕ_{dk}' および c_{dk}' を決定した。

$$\sigma \cong 2.4 \times 10^2 W_{vc} \text{ (N/m}^2\text{)} \cdots (1)$$

$$\tau \cong 1.5 \times 10^4 T_{vc} \text{ (N/m}^2\text{)} \cdots (2)$$

キーワード 堤体 強度定数 ベーンせん断試験

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之 TEL 0836-85-9303

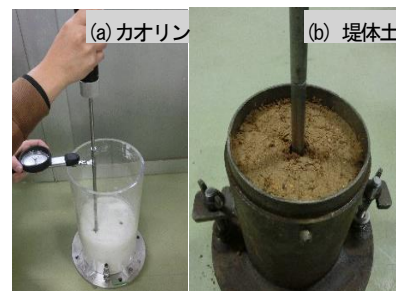


写真-1 ベーンコーンせん断試験の状況

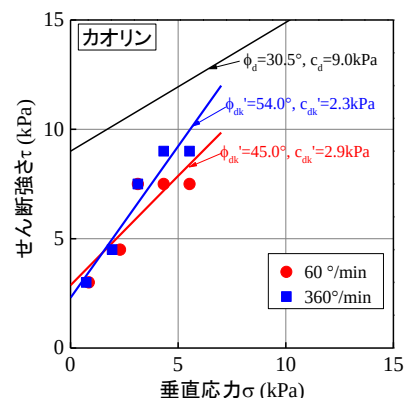


図-1 ベーンコーンせん断試験(カオリン)

ここに、 W_{vc} : 先端コーンにかかる鉛直荷重、 T_{vc} : 先端コーンにかかるトルクである。図-1にカオリンのベーンコーンせん断試験結果を示す。カオリンでは、コーンの回転速度が上がると、 ϕ_{dk}' は大きくなっているが、 c_{dk} に差はみられない。また、同図には一面せん断試験の強度線および強度定数も示している。 ϕ_{dk} が一般的なカオリンの ϕ よりも高い値を示しているのは、非常に低い範囲での押し込み力すなわち低拘束圧の下でせん断されたことが結果に影響している可能性がある。また、粘着力は一面せん断試験の方がベーンコーンせん断試験よりも高くなった。この理由として、予圧密したことにより、一面せん断試験では供試体が過圧密状態になったためと考えられる。

図-2にまさ土のベーンコーンせん断試験から得た ϕ_{dk}' と回転速度の関係を示す。いずれの締固め含水比においても、回転速度の違いによる ϕ_{dk}' の値に大きな差はなく、その差は約5°以内であった。一方、図-3に示すように、最適含水比および乾燥側含水比においては、 c_{dk} は回転速度の増加に伴い大きくなる傾向にある。この理由の一つとして、回転速度が速くなることで過剰間隙水圧が消散しきらず、非排水せん断強度に変化したためと考えられる。また、いずれの回転速度においても、湿潤側の c_{dk} が最も小さかった。既往の一面せん断試験結果²⁾と同様に、含水比の増加によってまさ土の粘着力は低下した。

図-4～6にそれぞれ各ため池堤体土に対するベーンコーンせん断試験結果を示す。また、各図に堤体土の不攪乱供試体に対して行った非排水三軸圧縮試験の強度線および強度定数を示す。堤体土1では回転速度の違いによって、強度定数に差がみられる。また、回転速度60°/minの強度定数が三軸圧縮試験の ϕ' 、 c' と近い値となった。堤体土2では回転速度を上げると ϕ_{dk}' は6°大きくなった。三軸圧縮試験の結果と比べると内部摩擦角、粘着力はともに差がみられた。このような強度差については安定解析を行い、安全率の算出結果から強度差の許容範囲を検討する必要がある。堤体土3では内部摩擦角は近く、三軸圧縮試験の結果よりも粘着力が小さくなった。強度線そのものを比較すると、試料の違いによらず、360°/minの方が60°/minよりも上位にあるので、回転速度60°/min以上にすると、せん断強度を過大評価する可能性がある。これらの理由として、ベーンコーンせん断試験の押し込み力は三軸圧縮試験の拘束圧30～150kPaよりも低いため、試験結果に拘束圧レベルの影響が少なからずあったと考えられる。また、三軸圧縮試験では不攪乱試料に対する試験結果であるが、本研究では再構成試料に対してベーンコーンせん断試験を行っているため、試料の状態によって得られる強度定数に違いが生じたものと考えられる。今後、再構成試料の三軸圧縮試験結果と比較する必要がある。

4. まとめ 本研究から得られた知見を以下に示す

- 1) カオリン、まさ土（湿潤側）を除いて、ベーンコーンせん断試験ではベーンコーンの回転速度が上がると、粘着力は増加する傾向にあった。また、内部摩擦角は粘着力ほど回転速度の影響は受けないものの、回転速度60°/min以上では、せん断強度を過大評価する可能性がある。
- 2) ため池堤体土を用いた試験では、拘束圧領域の違いや試料の状態によってベーンコーンせん断試験と三軸圧縮試験との強度定数に差がみられた。今後は、実際のため池でベーンコーンせん断試験を行い、今回の室内試験の結果とともに盛土の安定解析等を実施して、土検棒の適用性を検討することが必要である。

謝辞 本研究は山口県の協力のもとで実施された。関係各位に謝意を表す。

参考文献 1) 土木研究所資料: 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案), 2010. 2) 沖村孝, 鳥居宣之, 大西哲史, 下田潤一: 浸水による不攪乱ならびに攪乱まさ土のせん断強度の低下について, 平成15年度砂防学会研究発表会概要集, pp.38-39, 2003.

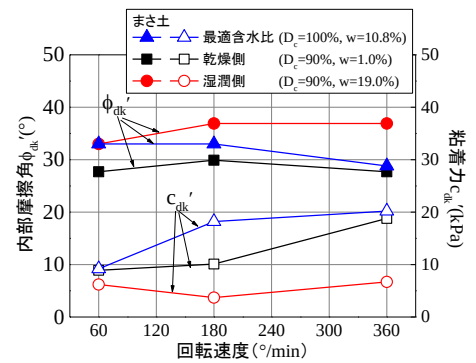


図-3 強度定数と回転速度の関係(まさ土)

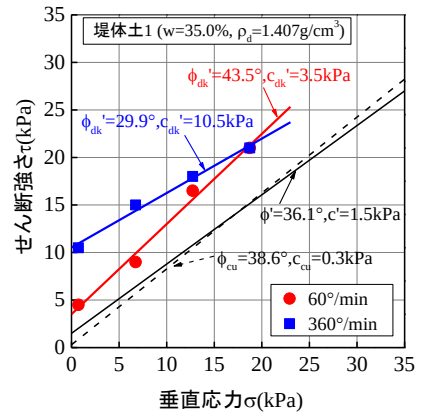


図-4 ベーンコーンせん断試験(堤体土1)

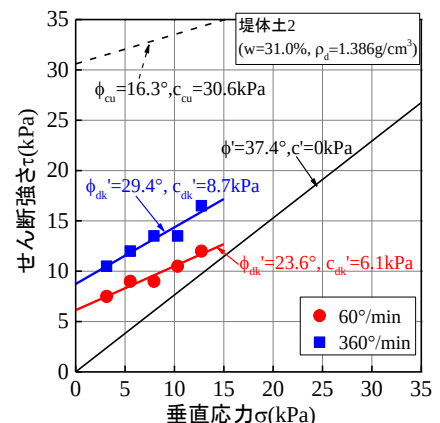


図-5 ベーンコーンせん断試験(堤体土2)

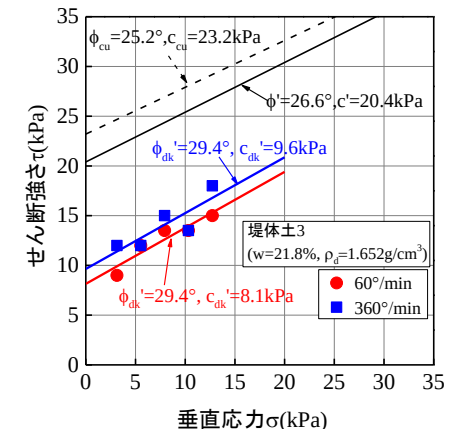


図-6 ベーンコーンせん断試験(堤体土3)