

圧密排水三軸圧縮試験における 細粒分含有率に応じたせん断速度の決定方法

中部土質試験協同組合 ○土屋 地弘
法安 章二
久保 裕一

1. はじめに

土の圧密排水三軸圧縮試験（JGS 0524-2020，以下 CD 三軸圧縮試験と称す）は，排水を伴うせん断により有効応力を正確に評価する試験方法である。そのため，間隙水圧の発生は試験結果に影響を及ぼす可能性がある。その主な要因としては，せん断速度および細粒分含有率が挙げられる。

せん断速度は，体積変化に伴う間隙水の排水に関係し，間隙水圧の発生に影響を与える重要な条件であると考えられる。しかし，「地盤材料試験の方法と解説」¹⁾では，明確なせん断速度の指定はされていない。代表的なせん断速度としては，全国積算資料に基づく 0.5%/min が挙げられるが，排水性を考慮し当組合では 0.2%/min を採用している。

また，粗粒土に細粒分が混入した材料では，細粒分含有率の増加に伴い透水係数が低下し，せん断中に間隙水圧が発生する可能性があると考えられる。

このように，CD 三軸圧縮試験において，せん断速度と細粒分含有率は，重要な要因であると考えられるが，これらを系統的に整理した研究例は多くない。

本研究では，細粒分含有率を 4 段階に設定した試料を作製し，各試料に対して 3 段階のせん断速度を設定した CD 三軸試験を実施することにより，細粒分含有率に応じた適切なせん断速度の把握を目的とした。

2. 試験試料および試験方法

(1) 試験試料

試験に供した試料は，市販の青粘土と珪砂 6 号を乾燥重量により混合した，細粒分含有率 $F_c=10\%$ ， 20% ， 30% ， 40% の 4 試料を用意した。また供試体作製条件については，各試料の密度条件を設定するため，それぞれ突き固めによる土の締固め試験(A-c 法)を行った。表-1 に各試料の物理試験結果および締固め試験結果を，図-1 に粒径加積曲線を示す。

(2) 試験方法

各試料に対して，3 段階のせん断速度 0.1，0.2，0.5 %/min を適用した CD 三軸圧縮試験を実施した。

供試体の密度条件は，締固め管理値として広く適用される最大乾燥密度の 90%とした。含水条件は，サクシオンにより粗粒分周囲に細粒分が均一に分布し，骨格構造が形成されること²⁾を考慮し，締固め曲線上の湿潤側含水比とした。ただし， $F_c=10\%$ と 20% は，細粒分が少なく

表-1 物理試験及び締固め試験結果

試料名	$F_c10\%$	$F_c20\%$	$F_c30\%$	$F_c40\%$
細粒分含有率(%)	10.2	20.3	31.0	39.0
土粒子密度(g/cm^3)	2.666	2.675	2.668	2.690
最大乾燥密度(g/cm^3)	1.620	1.770	1.880	1.866
最適含水比(%)	16.8	13.4	12.8	13.0

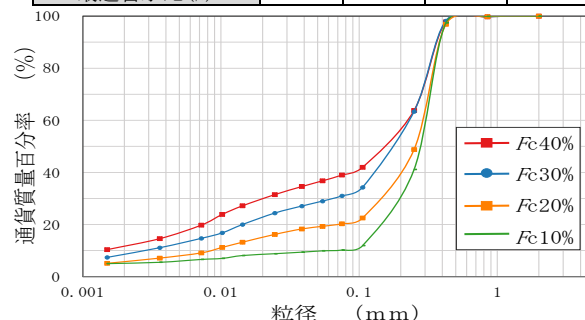


図-1 粒径加積曲線

保水性が低いため，土と水が分離し作製が困難であった。そのため，最適含水比と締固め曲線上の湿潤側含水比との中央値とした。その他試験条件は以下に示す。

- ・圧密圧力・背圧：50，100，200kN/m²・100kN/m²
- ・排水方法：両端面ペーパードレーン
- ・飽和方法：二重負圧法

3. 試験結果

CD 三軸圧縮試験は，排水条件でせん断するため，仮に間隙水圧が発生した場合でも，間隙水圧の測定が困難であり，発生の有無を確認することはできない。そのため，粗粒土の圧密非排水三軸試験 C_{ub} で適切な間隙水圧の測定が可能なせん断速度である 0.1%/min を CD 三軸圧縮試験に適用し，その結果を基準として，他のせん断速度で得られた試験結果を評価した。

(1) 強度定数について

表-2 に各試料のせん断速度に対する試験結果を，図-2 にモール円と破壊包絡線を示す。強度定数(c ， ϕ)を求めると，どのケースにおいても $c \approx 0$ であった。そのため， $c=0$ として ϕ を算出し，評価することとした。

$F_c=10\%$ ， 20% ， 30% において，各試料のせん断速度に対する ϕ の値に有意な差異は認められなかった。また，モール円の大きさに若干ばらつきが見られたものの，3 つのモール円から求めた破壊包絡線は，近似していることが確認された。これらの結果から， $F_c=10\%$ ， 20% ， 30% では，せん断速度の影響を受けにくいと考えられる。

$F_c=40\%$ において，せん断速度 0.1%/min で $\phi=35.6^\circ$ ，0.2%/min で $\phi=34.4^\circ$ ，0.5%/min で $\phi=31.0^\circ$ となり，せ

せん断速度が速くなるにつれて、 ϕ は徐々に低下する傾向が確認された。また、モール円の大きさはせん断速度が速くなるにつれて小さくなる傾向、破壊包絡線の傾きは低下する傾向も確認された。これらの結果から、 $F_c=40\%$ では、せん断速度 0.2%/min と 0.5%/min で排水が不完全な状態にあり間隙水圧が発生し、 ϕ が低下した可能性が高いと考えられる。

(2) 主応力差について

強度定数の結果において、モール円の大きさに若干ばらつきが見られたため、主応力差について、さらに、考察した。せん断中に間隙水圧が発生していなければ、全応力=有効応力が成立し、せん断速度の違いにより主応力差の大きさは変化しない。図-3 は、各試料のせん断速度別の主応力差とひずみの関係を示す。本図では、各せん断速度の主応力差を 0.1%/min の値で正規化し、さらに 3 供試体の平均値を算出した。全応力=有効応力の関係が成立し、主応力差にばらつきがない場合、各せん断速度の曲線は、0.1%/min とほぼ一致すると考えられる。

$F_c=10\%$, 20%, 30%において、各速度の曲線は、0.1%/min と近似した値を示すことが確認された。したがって、全応力=有効応力の関係が成立し、主応力差～ひずみ曲線のばらつきも試験結果に大きな影響を与えない範囲にあると考えられる。

$F_c=40\%$ において、せん断速度が速くなるにつれて、0.1%/min と比較して主応力差は徐々に低下する傾向が確認された。この原因が、全応力=有効応力の関係、あるいは、ばらつきによる影響であるかの特定は出来ない。しかし、 $F_c=10\%$, 20%, 30%におけるばらつきは、試験結果に大きな影響を与えない範囲であったことを踏まえると、せん断速度が速くなったことにより、全応力=有効応力の関係が成立していない可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

今回の研究により、以下の知見を得た。

1. $F_c=10\sim30\%$ では、せん断速度の変化による ϕ の差異は認められなかった。また、主応力差においても各速度の間で差異は認められなかった。これらの結果から、 $F_c=10\sim30\%$ では、排水性が十分確保されており、せん断速度の影響を受けにくいと考えられる。

2. $F_c=40\%$ では、せん断速度が速くなるにつれて、 ϕ は低下する傾向が確認された。主応力差についても同様に低下する傾向が確認された。これらの結果から、 $F_c=40\%$ では、せん断速度 0.2%/min と 0.5%/min において、排水が不完全な状態にあり間隙水圧が発生し、 ϕ が低下した可能性が高いと考えられる。

以上の結果から、細粒分含有率が $F_c=40\%$ を超える地盤材料に対して CD 三軸圧縮試験を行う場合は、間隙水圧を発生させないために 0.1%/min 以下のせん断速度を適用する必要があることがわかった。ただし、CD 三軸圧縮

試験は、せん断中の間隙水圧を測定できないため、全応力=有効応力の確認が取れない。よって、 $F_c=40\%$ を超える地盤材料に対しては、土の圧密非排水三軸試験三軸 Cub を適用するのが妥当と考えられる。

表-2 試験結果一覧

試験結果		粘着力 c_d (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)
$F_c=10\%$	0.1%/min	0	33.7
	0.2%/min	0	34.3
	0.5%/min	0	33.6
$F_c=20\%$	0.1%/min	0	33.6
	0.2%/min	0	34.3
	0.5%/min	0	34.3
$F_c=30\%$	0.1%/min	0	35.2
	0.2%/min	0	35.2
	0.5%/min	0	34.9
$F_c=40\%$	0.1%/min	0	35.6
	0.2%/min	0	34.4
	0.5%/min	0	31.0

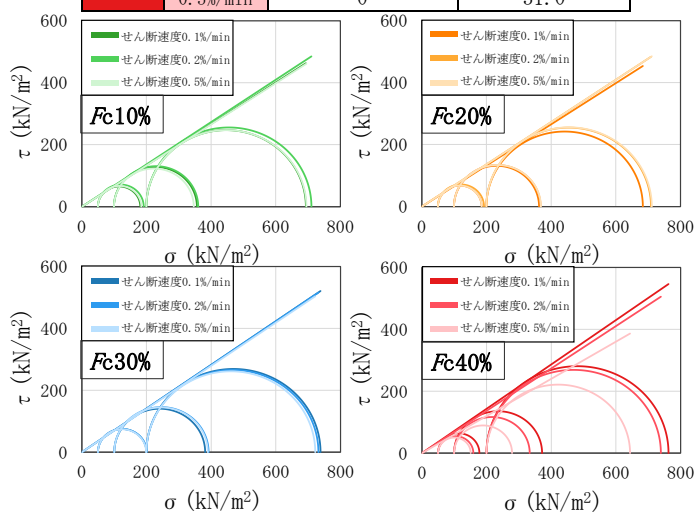


図-2 モールの応力円と破壊包絡線

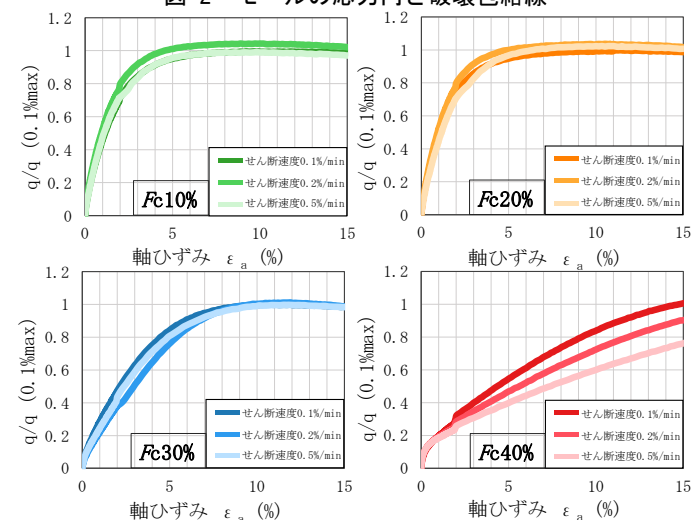


図-3 主応力差 (0.1%max で正規化) - ひずみ曲線

《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説 [第一回改訂版] - 二分の 2 - , pp. 619~643, 2020. 12
- 2) 兼松祐志ほか：供試体作製時の含水比の違いが河川堤防砂の力学特性に及ぼす影響, 土木学会中部支部研究発表会, 2012. 3