

圧密排水三軸圧縮試験 (CD試験) の適用性に関する一考察

排水せん断, 細粒含有率, 間隙比

中部土質試験協同組合 正会員 ○池田 謙信
 " 正会員 坪田 邦治
 " 正会員 久保 裕一

1. はじめに

土の圧密排水三軸圧縮試験 (以下 CD 試験) はせん断過程において供試体の体積変化を許容し, 過剰間隙水圧が生じないせん断速度で載荷することにより, 全応力と有効応力が一致する¹⁾。このためせん断過程で過剰間隙水圧が発生した場合, 試験結果に影響を及ぼすと考えられる。また, 本試験は, 透水性の良い砂質土を対象とすることが多く, 一般的には, 0.5%/min を超えないものとされている²⁾。当組合では, 地盤材料にもよるが, せん断過程における過剰間隙水圧の発生を極力抑制するために, せん断速度に余裕を持たせた0.2%/min を採用することを基本としている。しかしながら, 土質分類で砂質土とされても, 試料中の細粒含有率 (Fc) が比較的高く透水性が低い場合, また非常に密な試料で透水性が低い場合には, せん断速度: 0.2%/min としても過剰間隙水圧が発生し, 全応力と有効応力が一致しないことが考えられる。本研究は, CD 試験結果に与える Fc, 透水性, 過剰間隙水圧比等の影響について考察したものである。

2. 試験試料及び試験方法

(1) 適用した試験試料

今回適用した試料は, 図-1のような粒度構成の分級された砂 (土粒子の密度: $\rho_s = 2.740\text{g/cm}^3$) と, シルト ($\rho_s = 2.724\text{g/cm}^3$) を混合し, 細粒含有率 (Fc) を10, 20, 30, 40, 50, 60% に変化させた6種類の砂質土系試料を用意した。

供試体の作製は, 細粒含有率の増加に伴い, 圧密度が増え圧密後間隙比に差が生じるとの判断から, 表-1に示すように間隙比一定条件で作製した。

(2) 試験方法

- 1) 試料の量的な問題により, 1試験2供試体で実施し, 拘束圧は圧密圧力=50, 150kN/m², 背圧=100 kN/m²とした。せん断速度は当組合仕様の0.2%/min を採用した。
- 2) 供試体は CO₂を通した後, 下部より脱気水を通水し飽和させた。その後, 試料の透水性を把握するため, 予備圧10 kN/m²を加えた三軸透水試験を行い, 圧密を実施した。
- 3) せん断過程では, 供試体上部は体積変化を許すためコックを開けた状態とし, 供試体下部は, 間隙水圧を測定するためコックを閉じた状態で試験を実施した。

3. 試験結果及び考察

(1) 間隙水圧について

主応力差最大時の間隙水圧は, 図-2のように最大値を迎えた後, 減少過程を示し, 最大値に比べ(c, ϕ)に与える影響は少ない結果となった。しかしながら主応力差の増加に伴い間隙水圧が上昇し続ける様な経路をたどった場合, 今回計測した最大値付近まで上昇する可能性もあること, CD 試験の場合には本来発生することが許されないこと等を考慮し, 間隙水圧として計測した最大値を影響因子として扱うこととした。

(2) 評価方法について

実験数が少なく2つのモール円で(c, ϕ)を算出するにはばらつきが大きいこと, CD 試験を実施するような砂質土の場合 c が多少あっても ϕ のみで評価するケースが多いことなどから, 供試体一本毎の ϕ への影響を以下の2手法で算出し, ϕ 差分値に

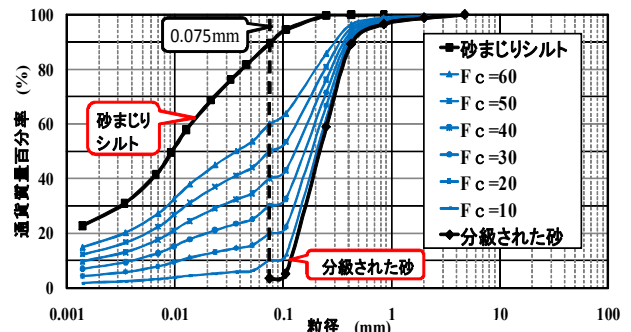


図-1 試験に用いた試料の粒度構成

表-1 供試体作製条件

| 試料名 | 砂 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 細粒含有率 (%) | 3.5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 土粒子の密度 (g/cm ³) | 2.740 | 2.739 | 2.737 | 2.735 | 2.733 | 2.731 | 2.729 |
| 含水比 (%) | 19.5 | 20.8 | 22.9 | 24.9 | 26.9 | 29.0 | 31.0 |
| 間隙比一定 | 1.041 | 1.041 | 1.041 | 1.041 | 1.041 | 1.041 | 1.041 |
| 乾燥密度 (g/cm ³) | 1.342 | 1.342 | 1.341 | 1.340 | 1.339 | 1.338 | 1.337 |
| 湿潤密度 (g/cm ³) | 1.604 | 1.621 | 1.648 | 1.674 | 1.699 | 1.726 | 1.752 |

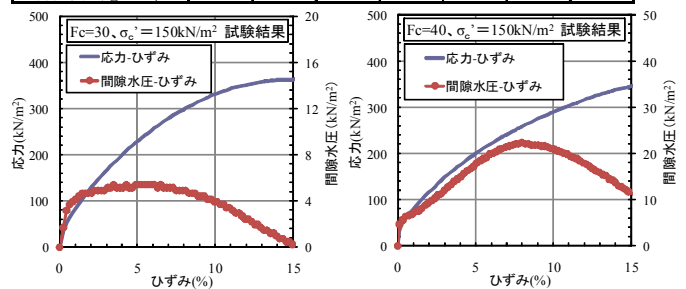


図-2 圧縮過程結果

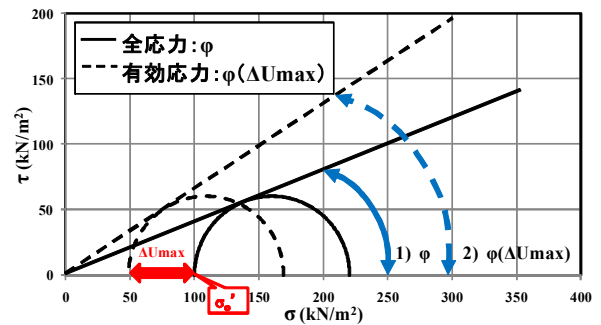


図-3 評価方法

より評価することとした（図-3参照）。圧密圧力に対する過剰間隙水圧比（ $\Delta U_{\max}/\sigma'_c$ ）が大きい程、試験結果 ϕ に影響を与えることが推測される。

- 1) 圧密圧力 σ'_c を始点とし、主応力差を直径とするモール円を描き $c=0$ と結んだ ϕ (CD 試験のモール円)
- 2) CU試験と同様に、圧密圧力 σ'_c から間隙水圧最大値を差引いた点を始点とし、主応力差を直径とするモール円と $c=0$ を結んだ $\phi_{\Delta U_{\max}}$ (CU試験のモール円)。

(3) 評価結果

- 1) 細粒分含有率と過剰間隙水圧比の関係は図-4のようになり、 $F_c=40\%$ で $\Delta U_{\max}/\sigma'_c$ が0.1を超し、その後急激に増加傾向を示し $F_c=50\%$ では0.3以上となった。細粒分含有率と影響値である ϕ の差の関係は図-5のようになり、 $F_c=40\%$ で 2.3° (平均値)、 $F_c=50\%$ で 7.4° (平均値)であった。
- 2) 間隙比と過剰間隙水圧比の関係は図-6のようになり、圧密前間隙比と過剰間隙水圧比の関係は明瞭ではないが、圧密後間隙比と過剰間隙水圧比の関係は、間隙比の減少に伴い過剰間隙水圧比が増加傾向にあり、特に圧密後間隙比が0.9より下まわるあたりから急激に増加傾向を示している。この時の細粒分含有率は凡そ40%であった。
- 3) せん断中の全データについて間隙比と過剰間隙水圧比の関係をまとめると図-7のようになり、 $\sigma'_c=50 \text{ kN/m}^2$ では過剰間隙水圧比が0.1を越すのは間隙比0.83、 $\sigma'_c=150 \text{ kN/m}^2$ では過剰間隙水圧比が0.1を越すのは間隙比0.80付近であった。また異なる粒度構成であるにも関わらず、間隙比の減少に伴い規則的に過剰間隙水圧比が上昇しているようにも見える。

(4) 検証

今回の試験結果の妥当性を確認するため別試料 ($F_c=26.6\%$) を使用し、比較的緩い状態 ($e=1.041$) と密な状態 ($e=0.850$) で供試体を作製し、同様の試験を行った。

試験結果を間隙比と過剰間隙水圧比の関係（図-7）にプロット（青色）すると、比較的細粒分が少ない試料であっても間隙比が小さい密な状態の試料の場合には、大きな過剰間隙水圧が発生することが確認された。このことから試験結果へ与える影響としては、細粒分含有率よりも間隙比の影響度が高い可能性が考えられる。

4. まとめ

- 1) 細粒分含有率40%で過剰間隙水圧比は0.1、 ϕ の差分値は 2° を越し、それ以上の細粒分含有率になると共に著しく増加傾向を示した。間隙比と過剰間隙水圧比との関係では、圧密後の間隙比が0.9を下回ると過剰間隙水圧比が0.1を越した。
- 2) 今回計測した過剰間隙水圧は $\sigma'_c=50 \text{ kN/m}^2$ では負圧、 $\sigma'_c=150 \text{ kN/m}^2$ では正圧を示していることから、2つのモール円により ϕ を算出した場合には、相乗効果で更にその差は大きくなるものと考えられる。
- 3) 検証試験の結果を考慮すると、過剰間隙水圧の発生は細粒分含有率より間隙比の影響度が高い可能性があると考えられる。また、正規圧密状態の乱した試料の場合、不攪乱試料のように骨格を持っていないため、透水性に及ぼす細粒分含有率の影響はそれほど高くない可能性があると考えられる。また、排水試験、非排水試験の適用条件を設けることにより、現場条件に適用可能で、より正確な試験データを提供できるとも考えられる。今後、これらについて、実験数の増加、試験条件の変更や異なる土に対する検証、評価方法の再検討などを実施し、三軸 CD 試験結の適用性についてさらに明確にしていきたいと考えている。

(参考文献)

- 1) (社)地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説(二分冊の2), p.583, 2009.11.
- 2) (社)地盤工学会：土質試験 -基本と手引き- (第二回改訂版), p.141, 2010.3.

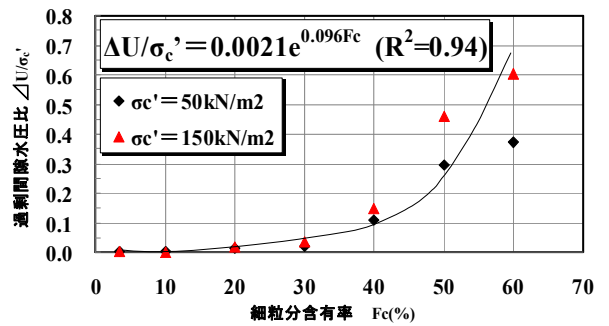


図-4 細粒分含有率と過剰間隙水圧比の関係

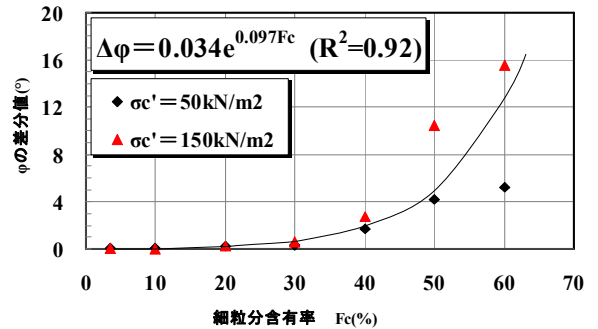


図-5 細粒分含有率とφの差の関係

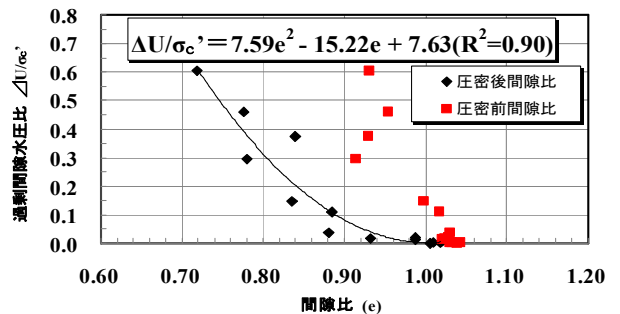


図-6 間隙比と過剰間隙水圧比の関係

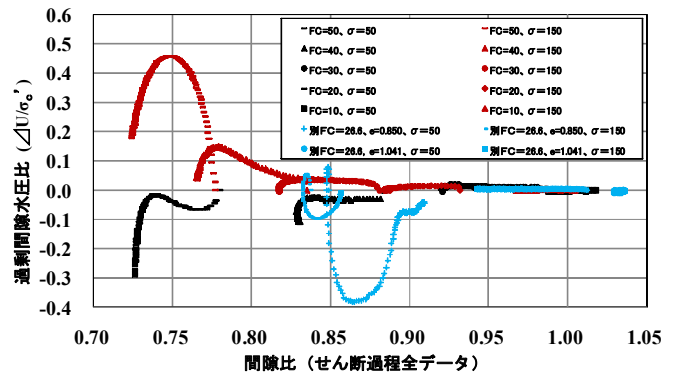


図-7 せん断中の間隙比と過剰間隙水圧比の関係