

緩い砂を圧密非排水三軸圧縮試験した場合の強度定数の算定方法

中部土質試験協同組合 ○池田 謙信, 法安 章二

1. はじめに

緩い砂に対し、土の圧密非排水(Cub)三軸圧縮試験(以下、三軸圧縮試験とする)を行い、強度定数を求める場合、圧密圧力の大きさによってモール円の大きさや位置に関する傾向が異なり、1本の破壊包絡線を引くことに苦慮し、強度定数の算定が困難な場合がある。

一般に、砂は密度の状態に応じて主応力差や間隙水圧などのせん断挙動に変化が現れることが知られている¹⁾。図-1は、砂の非排水三軸圧縮試験時の挙動を示す。非常に緩い砂(c)では、試験開始直後のひずみが小さい段階で主応力差は最大値を示し、その後減少する。また、平均有効応力は減少傾向を示す。一方、やや密度が高い緩い砂(b)では、主応力差は最大値を示した後減少するものの、ひずみの進行に伴い再び増加し、最大値を示す。また、平均有効応力は減少傾向から変相し増加に転じる。

密度状態の変化は、三軸圧縮試験の圧密過程によっても生じる。その結果、せん断挙動が変化し、強度定数の算定に影響を及ぼすと考えられる。

本報文では、緩い砂に対して、様々な圧密圧力を適用した三軸圧縮試験を実施し、密度状態やせん断挙動が変化した場合の、強度定数の算定方法について報告する。

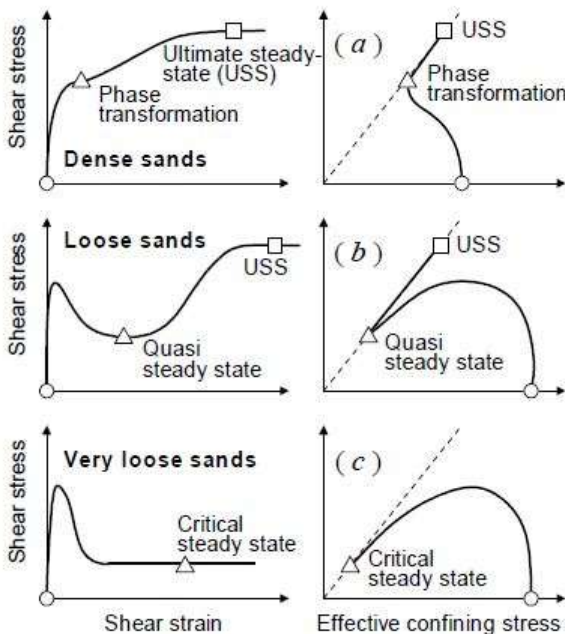


図-1 砂の非排水三軸圧縮試験時の挙動¹⁾

2. 試験試料及び試験方法

(1) 試験試料

試験試料は、自然地盤から採取した細粒分質砂とした。試料の物理試験結果を図-2に示す。

また、突固めによる土の締固め試験(A-c 法)結果は、

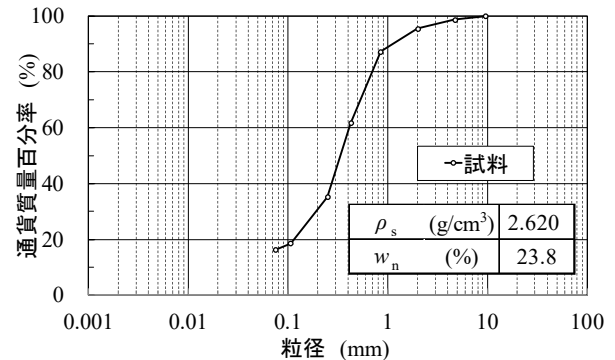


図-2 試料の物理試験結果

最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.720 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{opt}=17.6 \%$ であった。

(2) 試験方法

① 供試体作製方法

三軸圧縮試験に用いる供試体の作製条件については、密度条件は非常に緩い締固め度 $D_c=75 \%$ にあたる $\rho_d=1.290 \text{ g/cm}^3$ 、含水条件は自然含水比である $w_n=23.8 \%$ とした。また、突き固めにより供試体を作製し、 $h=100 \text{ mm}$ 、 $\phi=50 \text{ mm}$ の大きさとした。

② 試験方法

試験方法は、三軸圧縮試験方法(JGS 0523-2020)²⁾に準拠し、圧密圧力 $\sigma'_c=25, 50, 100, 150, 300, 400, 550, 700 \text{ kN/m}^2$ 、背圧は 200 kN/m^2 とした。また、せん断過程のひずみ速度は $0.05 \%/min$ とした。

3. 試験結果

(1) 各種試験結果

圧密圧力 $\sigma'_c=25, 50, 100, 150 \text{ kN/m}^2$ (以下、低圧側とする)の主応力差・間隙水圧とひずみの関係を図-3に、圧密圧力 $\sigma'_c=300, 400, 550, 700 \text{ kN/m}^2$ (以下、高圧側とする)の主応力差・間隙水圧とひずみの関係を図-4に、各供試体の有効応力経路を図-5に示す。

主応力差・間隙水圧とひずみの関係において、図-3より低圧側4供試体では、ひずみが小さい段階で主応力差は最大値を示し、その後、減少した。間隙水圧は、 $\varepsilon=15 \%$ まで増加し続けた。図-4より高圧側4供試体では、ひずみが小さい段階で主応力差は一旦最大値を示し、平衡からやや減少した。その後、ひずみの進行に伴い再び増加し、 $\varepsilon=15 \%$ 付近で最大値を示した。間隙水圧は、最大値を示した後、やや減少し $\varepsilon=15 \%$ を迎えた。

有効応力経路において、図-5より低圧側4供試体では、主応力差は最大値を示した後減少し、平均有効応力は減少し続けた。高圧側4供試体では、主応力差は一旦最大値

を示した後再び増加し、平均有効応力は減少傾向から変相し、やや増加した。

これらから、低圧側4供試体は、図-1で示した非常に緩い密度状態(c)のせん断挙動、高圧側4供試体は、緩い状態(b)のせん断挙動にあたり、圧密圧力が150と300 kN/m²の間でせん断挙動が変化したと考えられる。

(2) 強度定数の算定

図-6にモール円と強度定数を示す。破壊の定義については、試験方法に基づき主応力差の最大値とし、その時の間隙水圧の値を用いて全応力・有効応力のモール円を示した。また、今回の対象は緩い砂であるため、 c および c' は0とし、 ϕ と ϕ' を算出した。

全応力における ϕ の値は、低圧側4供試体(非常に緩い状態)では11.6°、高圧側4供試体(緩い状態)では13.5°と差異は比較的小さい。しかし、高圧側4供試体(緩い状態)のせん断挙動が、図-1の(a)に近い場合、主応力差は大きくなることが考えられるため、試験結果を良く確認する必要がある。

有効応力における ϕ' の値は、低圧側4供試体(非常に緩い状態)では21.1°、高圧側4供試体(緩い状態)では35.1°と大きな差が生じた。主応力差最大値における間隙水圧に着目すると、低圧側4供試体(非常に緩い状態)は、上昇過程にあり圧密圧力に対して43~56%程度の大きさ、高圧側4供試体(緩い状態)は、最大値付近にあり圧密圧力に対して71~78%程度の大きさと差異が見られた。有効応力のモール円は、全応力のモール円を間隙水圧の大きさ分横軸方向へ移動させたものにあたるため、せん断挙動の変化に伴う間隙水圧の大きさの違いが、 ϕ' に影響したものと考えられる。

4. まとめ

試験結果から、圧密圧力をせん断挙動の変化が生じる範囲に設定した場合、特に有効応力のモール円に対して、1本の破壊包絡線を引くことが困難なケースがあることが明らかとなった。このような場合、主応力差・間隙水圧とひずみの関係や有効応力経路を参考に、せん断挙動の状態を特定し、それぞれの状態に応じた破壊包絡線を用いて強度定数を算定することが妥当であると考えられる。また、緩い砂の場合、圧密圧力の設定によって過大または過小な強度定数が算出される可能性があるため、設計時の圧力状態を正しく反映した圧密圧力を設定した上で三軸圧縮試験を実施することが重要となる。

《引用・参考文献》

- 1) 吉嶺充俊(1999)：さまざまな応力・ひずみ条件における砂の非排水せん断挙動，第44回地盤工学シンポジウム発表論文集，
- 2) 地盤工学会編(2020)：地盤材料試験の方法と解説－

二分の二， pp. 593～644.

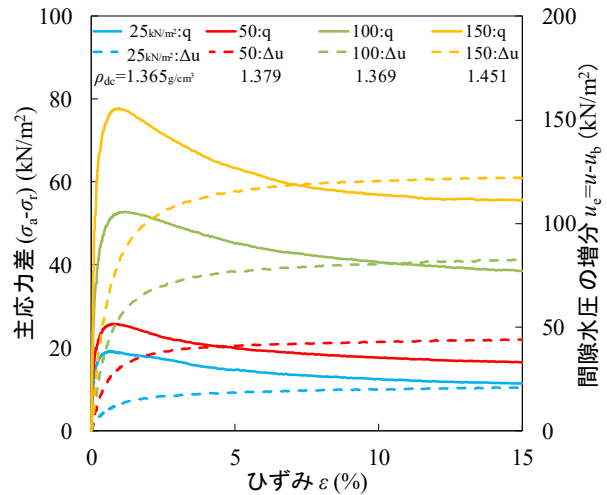


図-3 低圧側の主応力差・間隙水圧とひずみの関係

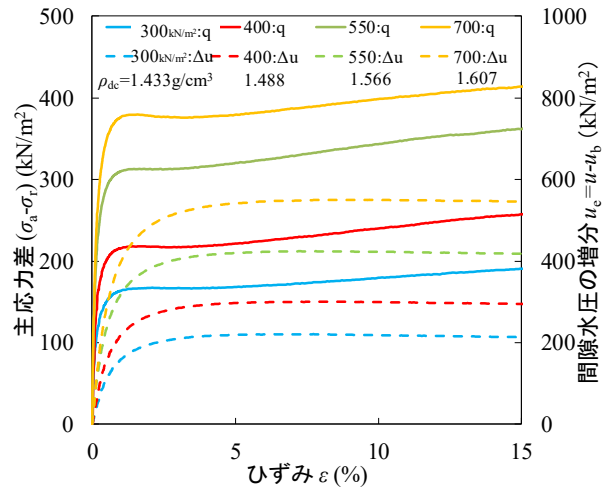


図-4 高圧側の主応力差・間隙水圧とひずみの関係

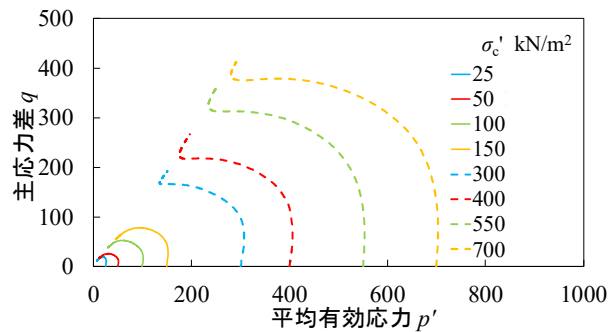


図-5 各供試体の有効応力経路

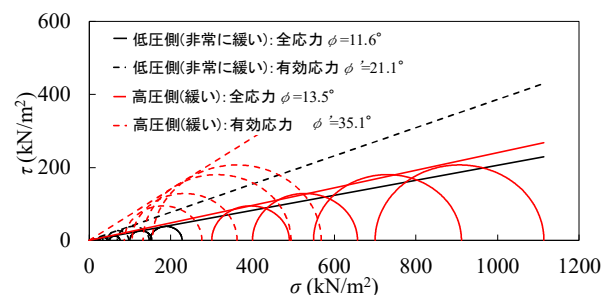


図-6 モール円と強度定数