

締固めた中間土のせん断特性に関する圧密圧力の影響について

中部土質試験協同組合 ○ 池田 謙信 坪田 邦治
久保 裕一 岩田 暁

1. はじめに

当組合の主な業務は、組合員を中心に東海地域の地質コンサルタント会社から地盤材料試験を受注し、試験から得られる各地盤定数を報告することである。発注者との打合せ・質疑の中で、様々な見解があると感じている議題の一つにかく乱試料を用いた圧密非排水(CU)三軸圧縮試験¹⁾を行った際の(c' , ϕ')の設定方法があるといえる。現在の主な考え方は以下のとおりである。

- ① 極端な密詰め砂質土を除き、通常の D 値管理で供試体を作製した材料であれば、圧密履歴がないため正規圧密粘土と同様に、 $c' \approx 0$, $\phi' = \text{一定}$ と考える。
- ② 試料の粒度構成で、細粒分がある程度含まれている場合には、 c' が見込め ($c' \approx 0$ ではない)、 $\phi' = \text{一定}$ と考える。
- ③ 圧密履歴がある乱れの少ない粘土と同様、過圧密領域と正規圧密領域が存在し、過圧密領域では c' が見込め ($c' \approx 0$ ではない)、正規圧密領域では $c' \approx 0$ となり、それぞれの ϕ' が異なると考える。

本報文では、締固めた砂礫質シルトに対し、段階荷重による圧密試験 (8段階)²⁾ と圧密非排水三軸圧縮試験 (8段階圧密圧力) を実施し、圧密圧力と間隙比 e の関係と対比しながら、圧密圧力により (c' , ϕ') がどの程度変化するかを検証したので報告する。

2. 試験試料および試験方法

(1) 試験に適用した試料

一般的に、砂質土や礫質土の場合、圧密圧力が高くなると粒子破碎の影響により、 c' が増加し、 ϕ' が減少する傾向となる。本試験では、ため池整備用材料として用いられた図-1のような粒度構成の砂礫質シルト (細粒土 $F_c \approx 50\%$) を採用した。物理試験結果は表-1の通りである。

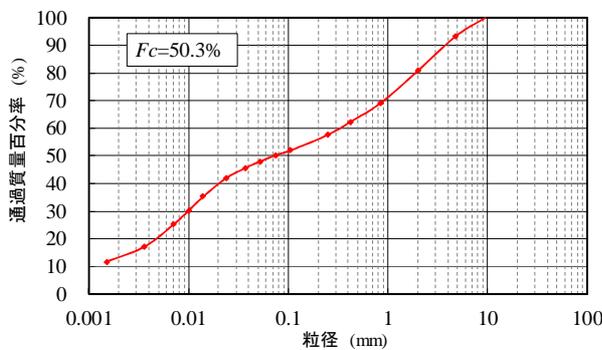


図-1 試験に用いた試料の粒度構成

表-1 物理試験結果

土粒子の密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	分類
2.746	45.8	84.3	37.9	46.4	砂礫質シルト (MHSG)

(2) 試験方法

- ① 供試体作製条件は締固め試験結果(A-c 法)を用いて、密度条件：実施工で比較的良好に採用される $D_c = 90\%$ ($\rho_d = 1.366 \text{g/cm}^3$), 含水条件：自然含水比 (w_n) = 45.8% とかなり高いため、 $D_c = 90\%$ の湿潤側含水比 $w\text{-wet}$ ($w = 34.2\%$) とした。
- ② 段階荷重による圧密試験は、静的締固めにより $\phi = 100 \text{mm}$, $H = 40 \text{mm}$ のブロックを作製し、そこから圧密容器 $\phi = 60 \text{mm}$, $H = 20 \text{mm}$ の寸法にトリミングをして実施した。三軸試験を飽和状態で実施するため、試験前に3時間水浸・飽和させ、変位がないことを確認した後に、試験を実施した。
- ③ 圧密非排水三軸圧縮試験は、圧密試験の段階荷重圧力と同様の圧密圧力 $\sigma_c' = 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 \text{kN/m}^2$, 背圧は $BP = 200 \text{kN/m}^2$ で実施した。圧密試験の $e \sim P$ 曲線と三軸試験圧密過程後の $e \sim P$ 曲線との比較、また圧密圧力の設定により (c' , ϕ') がどのように変化するかを検証した。

3. 試験結果および考察

(1) $e \sim P$ 関係について

段階荷重による圧密試験の $e \sim P$ 関係と圧密非排水三軸試験圧密過程の $e \sim P$ 関係を図-2に示す。

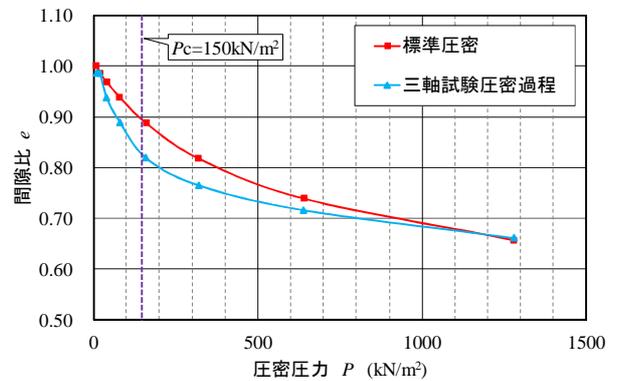


図-2 圧密過程における $e \sim P$ 関係の比較

両者の形状は比較的良好に似ており、圧密圧力が小さい範囲での e の低下率は可変的で著しく、大きい範囲では e の低下は徐々に落ち着き一定勾配に近づき安定する傾向が伺われる。両者の試験結果に若干の差異が生じた要因は、段階荷重による圧密試験には周面摩擦の影響、三軸試験圧密過程には供試体表面空隙へのゴムスリーブ貫入の影響等それぞれの試験方法に特性があること、また一次元圧密、等方圧密という根本的な違いもあり、現状では明確に把握できていない。今後の課題として、段階荷重による圧密試験 (一次元圧密) と三軸圧密試験 (等方圧密) を同一条件で行い確認する必要がある。

(2) 圧密圧力の設定による (c', ϕ') の変化について

- ① 三軸試験結果から圧密圧力 (σ_c') ～主応力差 $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ 、間隙比 (e) の関係を図-3に示す。同様に、有効側方応力 (σ_{rf}') ～主応力差 $(\sigma - \sigma_r)_{max}$ 、圧密圧力 (σ_c') ～間隙比 (e) の関係を図-4に示す。圧密圧力が小さい範囲での主応力差の増加率は可変的で著しく、大きい範囲では主応力差の増加は徐々に落ち着いて一定勾配に近づき e の低下と同調していることから、両者には密接な関係があると考えられる。
- ② 圧密非排水(CU)三軸圧縮試験を8つの圧密圧力条件で実施し、圧密圧力が小さい範囲から大きい範囲までの (c', ϕ') の結果を表-2、圧密圧力に対する (c', ϕ') の推移を図-5に示す。圧密圧力が低い設定から高い設定になるに伴い、 c' の値はほぼ0に近い3.25 kN/m²から徐々に増加し、最大で26.22 kN/m²となり、逆に ϕ' の値は39.7°から徐々に減少し最小で32.0°まで変動することがわかった。

4.まとめ

- (1) 段階載荷による圧密試験により得られる $e \sim P$ 曲線と三軸試験圧密過程後の $e \sim P$ 曲線は比較的良好な形状をしており、圧密圧力が小さい範囲での e の低下率は可変的で著しく、大きい範囲では徐々に一定勾配に近づく傾向を有しており、最終値はほぼ一致した。試験結果の若干の差異についてはそれぞれの試験法において、供試体の形状の差および周面摩擦やゴムスリーブ貫入の影響があること、また一次元圧密と等方圧密という根本的な違い等が考えられ、その解明が今後の課題であると考えている。
- (2) 三軸試験圧密後の $e \sim P$ 関係と圧密圧力(有効側方応力)～主応力差の関係には、圧密圧力が小さい範囲での増加率が可変的で著しく、大きくなるに従って徐々に一定値に近似して来る形状は、 e の変化と調和的であり、 e と主応力差の間に相関性があると考えられる。
- (3) (c', ϕ') の値は上記関係に追随し、 c' の値はほぼ0に近い3.25 kN/m²から徐々に増加し、最大で26.22 kN/m²となる一方、 ϕ' の値は39.7°から徐々に減少し最小で32.0°となり、圧密圧力の設定により (c', ϕ') の値が変化することがわかった。
- (4) 今回対象とした砂礫質シルトを $D_c=90\%$ で供試体を作製し、圧密非排水(CU)三軸圧縮試験を行った場合、試験結果である (c', ϕ') は、圧密圧力によって大きく変化する。このことから、地盤定数の設定に対しては、実施工を考慮した圧密圧力設定で、圧密非排水(CU)三軸圧縮試験を行うことが重要といえる。これらを考慮した試験と得られた結果に対する適切な評価を行うことにより、設計に適用可能な地盤定数 (c', ϕ') が得られると考える。

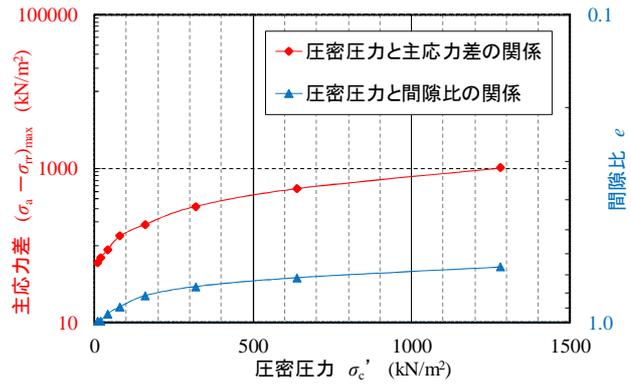


図-3 圧密圧力と主応力差、間隙比の関係

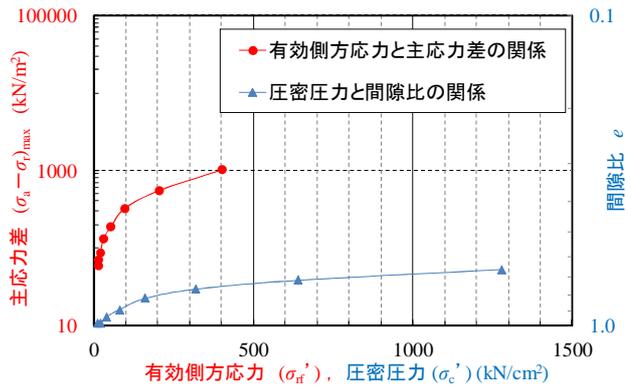


図-4 有効側方応力と主応力差、圧密圧力～間隙比の関係

表-2 圧密圧力の設定による (c, ϕ) の結果

圧密圧力			全応力		有効応力	
$\sigma_c' \text{ (kN/m}^2\text{)}$			$c \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	$c' \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$\phi' \text{ (}^\circ\text{)}$
10	20	40	18.39	18.1	3.25	39.7
20	40	80	16.48	20.1	1.00	42.3
40	80	160	21.53	17.0	8.67	36.2
80	160	320	24.08	16.6	10.29	36.0
160	320	640	28.57	15.7	20.65	32.5
320	640	1280	34.07	15.3	26.22	32.0

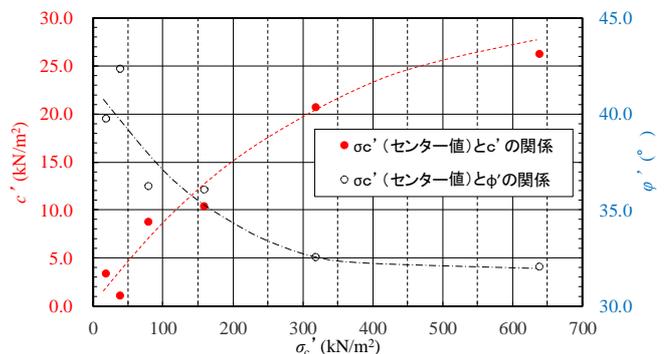


図-5 圧密圧力の変化に対する (c', ϕ') の推移

《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-二分冊の2-, p.575, 2009.11.
- 2) 地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の2-, p.462, 2009.11.