

締固めた砂礫質シルトのせん断特性に関する一考察

中部土質試験協同組合 ○ 池田 謙信
岩田 暁

1. はじめに

締固めた攪乱試料を圧密非排水三軸圧縮試験した場合、極端な密詰め砂質土を除き、通常のD値管理で実施した材料であれば、圧密履歴が無い場合正規圧密粘土と同様 $c' \approx 0$, $\phi' = \text{一定}$ として一般に設計では用いられており、試験者である筆者の認識も同様であった。一方圧密試験の $e\text{-log}P$ 曲線は、骨格構造を持った粘土の場合、一定勾配の直線が交差したような形状となるが、締固め土の場合、全体になだらかな曲線状となり、間隙比 e の変化率は一定ではない。このことから、 e と有効応力の増加が同調すると考えた場合、非排水三軸圧縮試験から求まる c' , ϕ' の値は圧密圧力の大きさにより変化し、1本のモール・クーロン式で近似出来ないと考えられる。

本報告では、締固めた砂礫質シルトに対し段階載荷による圧密試験・圧密非排水三軸圧縮試験を実施し、圧密試験の $e\text{-log}P$ 関係と三軸試験の圧密圧力に対する e との比較、また c' , ϕ' の傾向について検討する。

2. 試験試料および試験方法

(1) 試験試料

試験試料は、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ため、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）を採用した。 $e\text{-log}P$ 曲線は粗粒分が多い程、全体に丸い形状になり、分類で細粒土となる本試料の $e\text{-log}P$ 曲線は比較的なだらかな形状となることが予想された。物理試験結果は表-1の通りである。

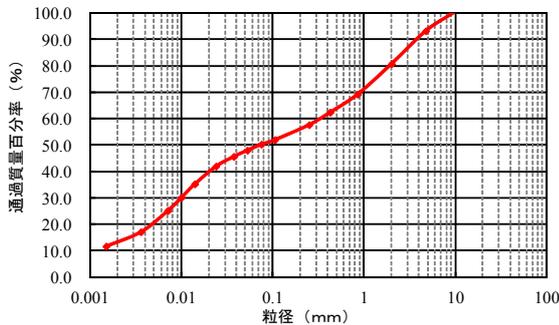


図-1 試験に用いた試料の粒度構成

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（A-c 法）結果をもとに、

密度条件：実施工で比較的良く採用される D90 ($\rho_d = 1.366 \text{ g/cm}^3$), 含水条件：自然含水比=45.8%とかなり高いため D90Wwet = 34.2%とした。

②段階載荷による圧密試験は静的締固めで $\phi = 100\text{mm}$, $H = 40\text{mm}$ 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。試験は三軸試験を飽和状態で実施するため、試験前に水浸（飽和）したものと、非水浸（不飽和）の2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載荷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 kN/m^2 で実施し、圧密試験の $e\text{-log}P$ 曲線との比較、また圧密圧力の設定による c' , ϕ' の変化を検証した。

3. 試験結果および考察

(1) $e\text{-log}P$ 関係について

段階載荷による圧密試験の $e\text{-log}P$ 関係と三軸試験圧密過程後の $e\text{-log}P$ 関係を図-2に示す。

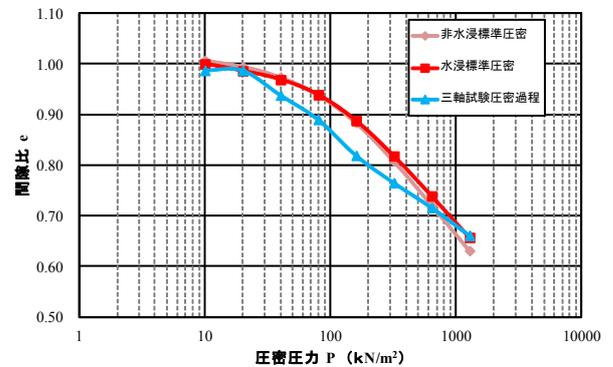


図-2 $e\text{-log}P$ 関係(対数軸)

段階載荷による圧密試験では水浸と非水浸について試験を行ったが、両者の差はほとんど認められなかった。これは供試体作製時の含水条件が D90Wwet と初期飽和度が高かったため、その差が生じなかったものと考えられる。三軸試験圧密過程後の $e\text{-log}P$ 関係は当初の予測では段階載荷圧密曲線の形状を保ったまま、やや e が高い下方にプロットされると考えていたが、圧密圧力の大きさに比例してほぼ直線状に e が推移する結果となった。なぜ両者の形状に違いが表れたのかについては、段階載荷による圧密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に問題がある上、一次元圧密・等方圧密という根本的な違いもあり、現状でははっきりしない。今後段階載荷による圧密試験（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。

図-2の圧密圧力は対数軸で表示しているが、三軸試験モデル円の作図では σ を通常軸表示するため、圧力軸を通常軸に変換したものを図-3に示す。両者の形状は比較的良く似ているが、三軸試験圧密過程後では $P < 320 \text{ kN/m}^2$ の範囲で e の増加傾向が著しく、増加率も一定でないのに対し $P > 320 \text{ kN/m}^2$ ではほぼ一定の傾きを示しており、 320 kN/m^2 前後で傾向に違いが認められるが特徴である。

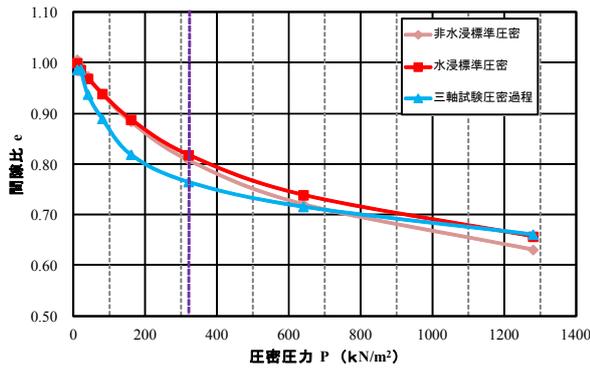


図-3 e-logP 関係(通常軸)

(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と主応力差の関係を図-4に、有効側方応力と主応力差の関係を図-5に示す。先述の圧密圧力と e の関係と同様に、圧密圧力 320 kN/m^2 前後で増加の傾きに僅かではあるが変化がみられ、それに対応する有効側方応力 100 kN/m^2 近傍でも同様の傾向がみられ、圧密後の e に同調していると考えられる。

②圧密非排水三軸圧縮試験を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、各モール・クーロンの線形を集積したものを図-6に示す。圧密圧力が低い設定から高い設定になるにつれ、 c' の値はほぼ0に近い 3.25 kN/m^2 から徐々に増加し最大で 26.22 kN/m^2 、逆に ϕ' の値は 39.7° から徐々に減少し最小で 32.0° まで変動した。

4.まとめ

①段階載荷による圧密試験により得られる e-logP 曲線と三軸試験圧密過程後の e-logP 曲線は対数軸で比較すると緩やかな曲線と直線という点で差異が認められたが、通常軸で比較すると両者の形状は比較的良く似ているように思われた。同一試験条件で一次元圧密と等方圧密を行い対数軸で整理した場合、両者の形状の違いが見られるかについては今後の検討課題である。

②三軸試験圧密後 e-logP 関係と圧密圧力(有効側方応力) - 主応力差の関係には、ある圧密圧力までの増加率が可変的に著しく、その後一定してくる点で相関性が認められた。 c' , ϕ' の値は上記関係に追従し、 c' の値はほぼ0に近い 3.25 kN/m^2 から徐々に増加し最大で

26.22 kN/m^2 、 ϕ' の値は 39.7° から徐々に減少し最小で 32.0° まで変化し、圧密圧力設定に依存して変化する結果となった。

③実務での圧密圧力設定は最大でも 200 kN/m^2 程度の場合がほとんどで、今回の試験結果では主応力差、 c' , ϕ' の値が変化する領域で試験をしていると言える。このことから、実施工を踏まえた圧密圧力設定で圧密非排水三軸圧縮試験を行うことの重要性が伺える。

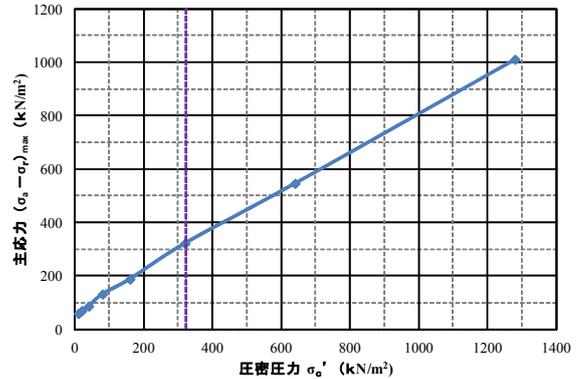


図-4 圧密圧力と主応力差の関係

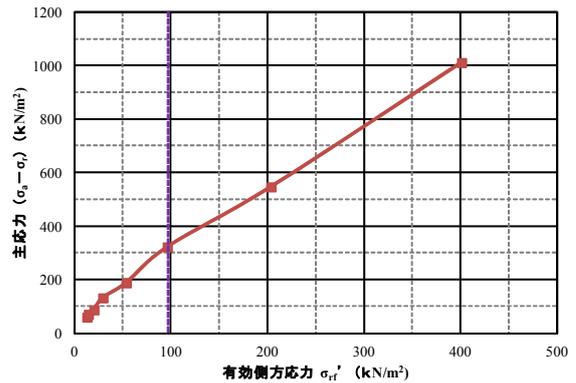


図-5 有効側方応力と主応力差の関係

表-2 圧密圧力の設定による c' , ϕ' 結果

圧密圧力		全応力		有効応力		
$\sigma_c' (\text{kN/m}^2)$		$C (\text{kN/m}^2)$	$\phi' (^\circ)$	$C' (\text{kN/m}^2)$	$\phi' (^\circ)$	
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

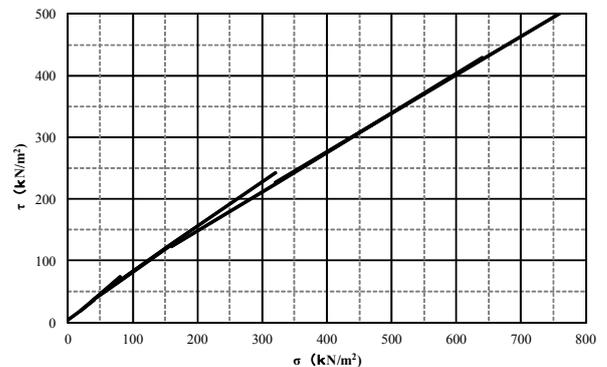


図-6 モール・クーロンの推移