

CRS 試験より得られた粘性土の膨潤指数

北海道大学大学院 学生会員 ○大橋多朗
 北海道大学大学院 正会員 田中洋行
 北海道大学大学院 学生会員 堤 彩人

1. はじめに

地盤に関する数値解析、特に Cam Clay モデルでは、土質パラメータとして圧縮指数 C_c とともに、膨潤指数 C_s が重要なパラメータである。 C_c に関する研究報告は多く、 C_c と液性限界 w_L との間に相関があることが知られている¹⁾が、 C_s に関する研究報告は少ない。そこで、本研究では、6 種類の粘性土試料の除荷挙動を比較し、 C_c と物理特性との関係を調べた。

2. 試料と試験方法

実験に用いた試料は、八郎潟粘土、大阪湾粘土、笠岡粘土の再構成試料と拓北粘土、2 種類の大阪湾粘土の不攪乱試料で、詳しい物理特性を表-1 に示す。

本研究では、これら 6 種類の粘性土試料に対して CRS 試験 (JISA1227) を実施し、粘性土の除荷挙動を得た。本試験は、載荷装置にデジタルサーボモータを用いたので、従来の装置と比べて軸変位を精度良く制御できる。供試体の寸法は、直径 60mm 高さ 20mm で、100kPa の背圧を負荷した。試験中は、上部排水面の軸圧縮応力 σ と下部非排水面の過剰間隙水圧 Δu を計測し、軸変位量はモータの回転量より換算した。供試体内の間隙水圧は放物線分布していると仮定し、有効応力 p' は式 (1) より算出した。

$$p' = \sigma - \frac{2}{3} \cdot \Delta u \quad (1)$$

3. 除荷直前の C_c の影響

図-1 に 6 種類の粘性土試料に対して実施した CRS 試験から得た e - $\log p'$ 関係の拡大図を示す。横軸は除荷直前の有効応力 p_1' で正規化した有効応力比 p'/p_1' で、除荷応力比と呼ぶことにする。縦軸は除荷直前の間隙比からの増分 Δe を示している。試験は、0.02%/min のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ で所定のひずみレベル (20~25%程度) まで載荷した後、0.02%/min の $\dot{\epsilon}$ で除荷応力比が 0.1 になるまで除荷した。図より、粘土の種類によって除荷過程の e - $\log p'$ 関係 (除荷曲線) は異なることがわかる。

Cam Clay モデルを始め、 C_s は C_c との比で表されることが多い。そこでまず、6 種類の粘性土試料の除荷直前の状態 C_c について調べてみる。構造がない再構成粘土試料の正規圧密領域の e - $\log p'$ 関係はほぼ直線となり、 e - $\log p'$ 関係の傾き C_c は有効応力レベルに依らず、 w_L との間に (2) 式の関係があることが知られている。

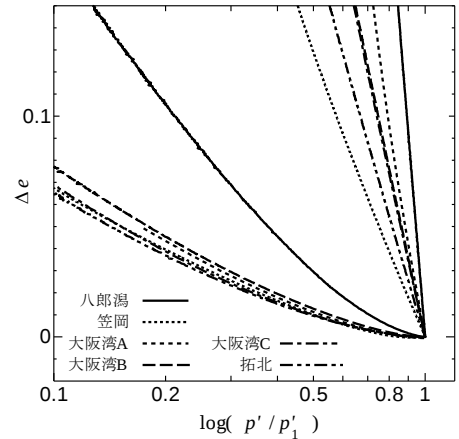
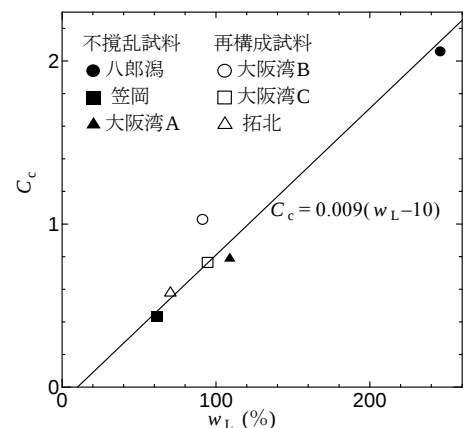
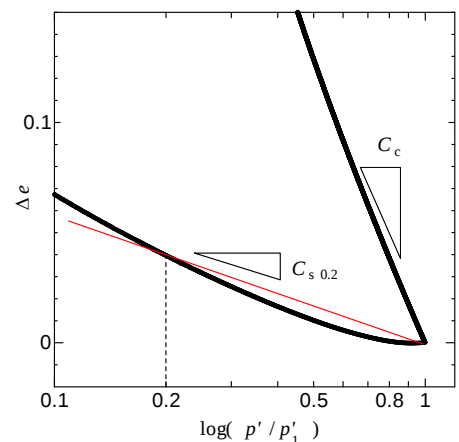
図-1 各粘土の Δe - $\log(p'/p_1')$ 関係図-2 C_c と w_L の関係図-3 笠岡粘土の Δe - $\log(p'/p_1')$ 関係

表-1 試料の物理特性

試料名		$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_0(\%)$	$w_P(\%)$	$w_L(\%)$	e_0	C_c	$p_1'(\text{kPa})$	除荷直前の e
八郎潟	再構成	2.429	181	96	246	4.39	2.06	364	3.06
笠岡	再構成	2.610	46	36	62	1.16	0.43	1190	0.64
大阪湾A	再構成	2.675	61	43	109	2.32	0.79	644	1.50
大阪湾B	不攪乱	2.657	87	38	92	1.62	1.03	1091	1.12
大阪湾C	不攪乱	2.619	74	39	95	1.90	0.76	926	1.25
拓北	不攪乱	2.698	88	25	70	1.76	0.58	700	1.08

$$C_c = 0.009(w_L - 10) \quad (2)$$

一方、構造が発達した不攪乱粘土試料の正規圧密領域の $e\text{-log}p'$ 関係は非線形となるが、構造が完全に破壊された有効応力レベルでは $e\text{-log}p'$ 関係はほぼ直線とみなすことができ、このときの C_c は(2)式で表わせることが知られている。本研究で対象とした試料でも、図-2 に示すように C_c は(2)式によって表現できることがわかる。したがって、本研究で得られた粘性土の特性は、完全に構造がない状態であり、図-1 の除荷曲線の違いは粘性土の物性の違いによるものと考えることができる。

4. 膨潤指数 C_s と液性限界の関係

図-3 に示すように除荷曲線は著しく非線形となり、除荷応力比によって変化する。このため、本研究では、 C_s を除荷曲線の割線の傾きで定義する（図-3 には、除荷応力比が 0.2 の時の $C_{s0.2}$ を示している）。

図-4 に、 C_c で正規化した C_s と除荷応力比の関係を示す。一般的に、地盤に関する数値解析では、 C_s/C_c の値が 0.1 から 0.2 となるような C_s が用いられる。しかし、除荷応力比がかなり小さな 0.2 の時でも笠岡粘土を除いて C_s/C_c の値は、0.1 以下とかなり小さい値となった。この原因は、除荷時のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ によるものと思われる。すなわち、除荷時の $\dot{\epsilon}$ が遅い程、粘性土供試体はゆっくり膨潤し、 C_s の値は大きくなる。図から C_s/C_c は除荷応力比の減少にともない直線的に増大することがわかる。すなわち、除荷曲線の非線形性は(3)式のように定義することができる。

$$C_c/C_s = -a\{(p'/p_1') - 1\} + b \quad (3)$$

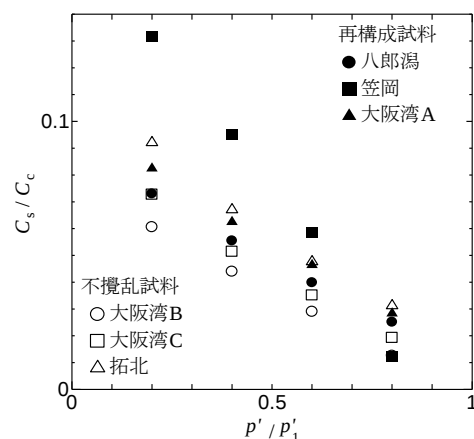
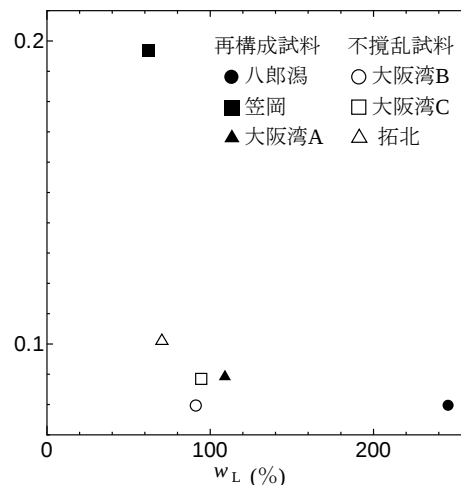
ここに、 a は粘性土によって異なる除荷曲線の非線形性の強さを表す定数、 b は除荷直後の膨潤性の大きさを表す定数である。図-5 に a と w_L の関係を示す。両者の間には明確な関係は認められないが、笠岡粘土を除いて、今回行った試料の a は 0.08 から 0.10 の範囲内にあることがわかる。

5. まとめ

種々の粘性土に対して、CRS 試験によって除荷挙動を調べた。その結果、除荷時の $e\text{-log}p'$ 関係は、かなり非直線を示し、除荷応力比の減少に比例して増大することがわかった。また、一部の試料を除いて、 C_s/C_c は 0.1 以下と、一般の解析で用いられている値よりかなり小さい結果が得られた。

参考文献

- 1) Skempton, A. W.: The consolidation of clays by gravitational compaction, Q. J. Geological Society, Vol. 125, pp.373-411, 1970.

図-4 各種粘土の C_s/C_c と p'/p_1' の関係図-5 各種粘土の $a\text{-}w_L$ 関係