長期圧密試験における載荷圧力増分の上限に関する考察

港湾空港技術研究所　正会員　渡部 要一
関西国際空港　正会員　江村　剛
関西国際空港　正会員　山路　徹
応用地質　正会員　宇高　薫
応用地質　正会員○渡部　有

1. はじめに

筆者らは，関西国際空港建設地に分布する大阪湾の海底 300m に及ぶ洪積粘土に対して，長期圧密試験および定ひずみ速度圧密試験（以下，CRS 試験）などを実施してきた[1)]．その中で，大阪湾粘土の長期的な圧密沈下挙動を把握するため，土被り圧から瞬間的に正規圧密領域に載荷させる長期圧密試験を行い，圧密パラメータを設定する手法を採用している．しかし，正規圧密領域といっても様々な圧力レベルがあり，極端に大きな圧力を瞬時に載荷する場合には，試験結果の評価が難しくなるなど，載荷圧力増分には上限があると予想される．そこで本稿では，大阪湾洪積粘土に対し，長期圧密試験として適用可能な圧力レベルについて検討した．また，構造が発達した粘土として著名なカナダ東部の Louiseville 粘土に対しても同様に検討した．

2. 試験試料および試験内容

今回試験に用いた試料は，大阪湾粘土の Ma10 層，Ma9 層とカナダ東部の Louiseville 粘土である．試験試料の物性を表-1 に示す．試験は，CRS 試験および長期圧密試験を行い，CRS 試験の圧縮ひずみ速度は 3.3×10^{-6} s^{-1} とした．長期圧密の圧力載荷条件を表-2 に示す．CRS 試験より得られる p'_c を参考に 3～5 種類の圧力を設定した．載荷条件は，現地の土被り圧 σ'_{v0} に至るまでは 24 時間の段階載荷とし，土被り圧 σ'_{v0} にて 7 日間圧密した後，所定の圧力まで瞬間的に載荷した．

表-1　試料の物性

採取地	大阪湾		Louiseville	
地層名	Ma10	Ma9	－	－
深度※ (-m)	161	195	9	11
有効土被り圧 σ'_{v0}(kPa)	1014	1262	62	71
圧密降伏応力 p'_c(kPa)	1357	1719	189	204
過圧密比 OCR	1.34	1.36	3.05	2.87
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)	2.69	2.72	2.75	2.77
塑性指数 I_P	58.7	54.3	57.0	48.9
自然含水比 w_n(%)	51.9	50.8	66.1	65.1

※深度は、大阪湾粘土をCDLで、Louiseville をGLで示した

表-2　圧力載荷条件

採取地	地層名(深度)	圧力段階 (kPa) 1	2	3	土被り圧力	長期圧力	p/p_c
大阪湾	Ma10 (161m)	157	314	628	1020 (7日間載荷)	2275	1.68
						2903	2.14
						4158	3.06
						4158	3.06
						6041	4.45
	Ma9 (195m)	157	314	628	1255 (7日間載荷)	2511	1.46
						3295	1.92
						5021	2.92
						5021	2.92
						7532	4.38
Louiseville	(9m)	-	10	30	59 (7日間載荷)	290	1.53
						430	2.28
						580	3.07
	(11)	-	10	30	69 (7日間載荷)	206	1.54
						314	2.02
						412	2.50
						510	2.98

3. 試験結果

試験結果として，図-1(a), (b)に大阪湾粘土 Ma10, Ma9, 図-2(a), (b)に Louiseville 粘土(GL. –9m, –11m)の圧縮曲線(ε～log p/p_c 関係)を示す．この図には，過剰間隙水圧もあわせて示すほか，長期圧密試験における 24 時間時点での圧縮ひずみ ε，ひずみ速度が 3.3×10^{-6} s^{-1} 時点での圧縮ひずみ ε もプロットしている．間隙水圧は，圧密圧力が圧密降伏応力（p/p_c>1）を超えると著しく増加している．大阪湾粘土では p/p_c≦3，Louiseville 粘土では p/p_c≦2 の時，CRS 試験と同じひずみ速度である 3.3×10^{-6} s^{-1} 時点での圧縮ひずみ ε は，概ね圧縮曲線上に位置し，24 時間時点での圧縮ひずみ ε は CRS 試験結果の ε～log p 曲線よりやや下方に位置している．これは，長期圧密試験の 24 時間時点でのひずみ速度が $1.7\sim7.1\times10^{-8}$ s^{-1} 程

キーワード　長期圧密，載荷圧力，圧縮曲線
連絡先　〒331-8688　埼玉県さいたま市北区宮原町1–66–2，応用地質（株）コアラボ，TEL.048–663–8611.

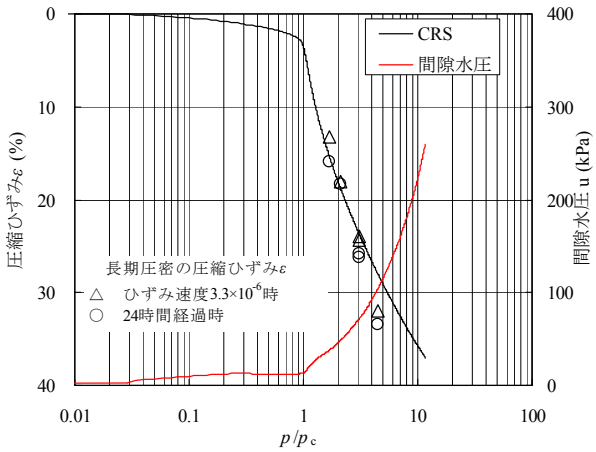

図-1(a) ε～log p/p_c（大阪湾：Ma10）

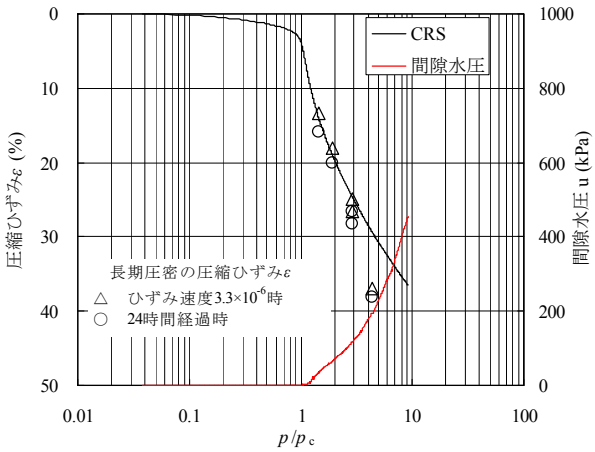

図-1(b) ε～log p/p_c（大阪湾：Ma9）

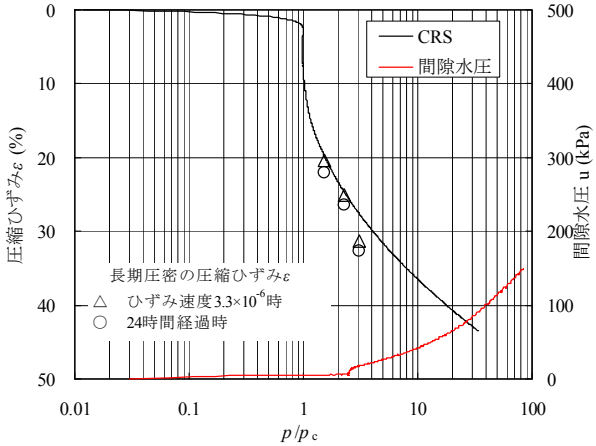

図-2(a) ε～log p/p_c（Louiseville：9m）

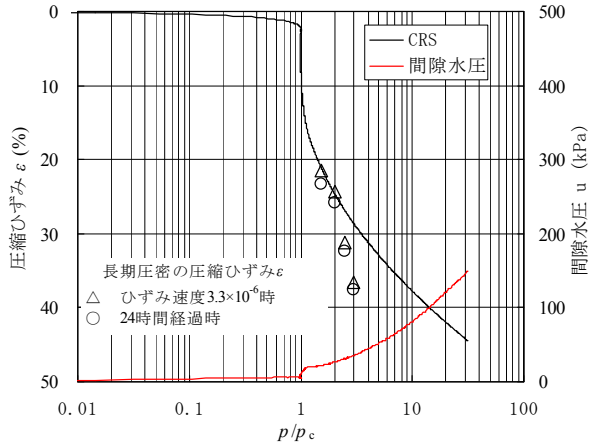

図-2(b) ε～log p/p_c（Louiseville：11m）

度であり，CRS 試験よりひずみ速度が遅いためであるとして説明できる．一方，大きな圧力を瞬間的に載荷した場合，すなわち，大阪湾粘土で p/p_c>3，Louiseville 粘土では p/p_c>2 のとき，長期圧密試験の結果は CRS 試験の圧縮曲線よりも下方に離れていくことが確認できる．これは，著しく大きな圧力を瞬間的に載荷すると衝撃的な載荷となり，通常の増分比 1 で行う段階載荷試験のように静的に載荷するのに比較して，過大なひずみが発生するためと考えられる．その圧力レベルの境界は，土の種類や硬さによるものと考えられるが，今回試験した範囲では，$2p_c$ 程度の圧密圧力であれば衝撃的な載荷にはならないものと考えられる．なお，圧密容器の解体時に，注意深く観察したが，圧密リングと加圧板のすき間から粘土の流出は認められず，また試験前・試験後供試体の含水比測定データにも粘土の流出は現れていないことから，衝撃的な載荷による粘土の絞り出しはなかったことを付記する．

4. まとめ

大阪湾粘土および Louiseville 粘土に対し，CRS 試験および長期圧密試験を行った．土被り圧相当から瞬間的に正規圧密領域に載荷する際，p_c の約 3 倍以上となるような極端に大きな圧力である場合は，衝撃的な載荷となり，静的に載荷して圧縮する場合より大きな沈下が生じること，すなわち，CRS 試験から得られる圧縮ひずみよりも大きくなることを確認した．このような現象が生じる載荷圧力は，今回の試験の範囲では，大阪湾粘土で p/p_c>3，Louiseville で p/p_c>2 であった．したがって，長期圧密試験を実施する際には大阪湾粘土では p/p_c≦3，Louiseville 粘土では p/p_c≦2 のとき，衝撃的な載荷による過大な沈下は生じないものと考えられる．

謝辞

本研究は，関西国際空港用地造成（株）と（独）港湾空港技術研究所との共同研究として実施された．関係各位に感謝の意を表します．

参考文献

1) Watabe et al. (2008): Strain rate effect on long-term consolidation of Osaka Bay clay, *Soils and Foundations*, 48(4), 495–509.