



软土屈服前后固结系数变化特征

廖先斌, 王强, 马峰

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州 510230)

摘要:不同荷载下软土随时间的变形特征是软基沉降设计的重点。通过进行室内高压固结试验, 求得不同荷载下的固结系数及正常固结状态下软土的前期固结压力, 分析软土屈服前后固结系数差异及变化特点, 为珠三角软土的力学特性研究提供可供参考的建议。

关键词:软土; 屈服; 高压固结试验; 固结系数; 前期固结压力

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0054-03

Variation characteristics of coefficient of consolidation before and after yielding of soft clay

LIAO Xian-bin, WANG Qiang, MA Feng

(CCCC FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The foundation settlement is designed to focus on deformation characteristics of soft clay under different loads over time. According to the coefficient of consolidation and preconsolidation pressure under the oedometer test, we analyze the variation characteristics of coefficient of consolidation before and after normally consolidated soft clay. Relevant suggestions are put forward to serve as reference for the research on Zhujiang delta continent soft clay's mechanical characteristics.

Key words: soft soil; yielding; oedometer test; coefficient of consolidation; preconsolidation pressure

固结系数是反映土固结快慢的重要指标, 特别是诸如港珠澳工程沉管隧道延伸长, 纵向变化大, 不同沉管段荷载要求有差异, 研究不同荷载下固结系数的变化特征, 特别是软土屈服前后固结系数的变化性状具有重要的意义。

Karl^[1]等和Lowe等^[2]研究成果表明, 固结系数随着加荷的不同而变化。Robert^[3]认为: 在正常固结状态下, 当应力水平小于前期固结压力时, 固结系数较大且随应力水平的增加无明显的变化; 当超过前期固结压力后, 固结系数骤减且随应力水平的增加而减小。东南大学余闯^[4]等通过研究认为: 在正常固结状态下, 当应力水平小于前期固结压力时, 固结系数随应力水平的增加而增加; 当超过前期固结压力后, 固结系数随应力水

平的增加而减小。

珠三角洲一带表层发育厚层的正常固结软土, 但尚无系统的有关软土不同荷载条件下固结系数变化规律的研究成果。本文采用室内标准固结试验, 研究正常固结软土屈服前后不同荷载下的固结系数, 分析固结系数变化和前期固结压力的变化关系, 初评珠三角洲入海口一带软土屈服前后固结系数的变化规律及相关性。

1 试验方案

1.1 原状样品的采取及保存

利用海上固定式升降钻平台或具有波浪补偿系统的海上分离式液压驱动钻机, 消除波浪对取样的扰动影响; 采用固定活塞薄壁取土器采取I级

收稿日期: 2013-05-06

作者简介: 廖先斌(1971—), 男, 高级工程师, 从事工程地质研究工作。

不扰动软土样; 样品按照上下正确方向竖直放置在样品箱, 样品之间用木屑充填, 确保样品的原状性和不扰动性。

1.2 室内试验设备及方案

根据英国室内试验标准^[5], 本次固结试验采用南京土壤仪器厂有限公司的GZQ-1型全自动气压固结仪, 采用应力控制, 根据软土性质, 确定需要施加的各级压力进行标准固结试验。特别在试验中加强了以下与中国标准不同试验因素:

- 1) 室内试验时温度变化不超过 $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并且最终得到的固结系数需换算至 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的标准值;
- 2) 百分表的精度为 0.002 mm ;
- 3) 试样在试验过程中的方向和原位一致;
- 4) 稳定判别标准统一采用 24 h ;
- 5) 进行沉降速率量测时的读数间隔采用 $10\text{ s}, 20\text{ s}, 30\text{ s}, 40\text{ s}, 50\text{ s}, 1\text{ min}, 2\text{ min}, 4\text{ min}, 8\text{ min}, 15\text{ min}, 30\text{ min}, 1\text{ h}, 2\text{ h}, 4\text{ h}, 8\text{ h}, 24\text{ h}$ 。

1.3 室内试验分析

在深度 $0\sim 25.4\text{ m}$ 软土层淤泥、淤泥质土采取样品进行物理力学试验, 试验结果表明: 软土的含水率高、天然密度低、天然孔隙比大、液性指数高、力学强度低、压缩性高, 软土基本岩土参数如表1所示^[6]。

表1 软土基本岩土参数

天然含水率/%	34 ~ 90
天然密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.46 ~ 1.76
比重	2.67 ~ 2.75
孔隙比	1.205 ~ 2.501
液性指数	0.72 ~ 1.55
不排水剪强度/kPa	12.4 ~ 43.9
压缩指数	0.420 ~ 1.050

利用22个I级原状软土样进行标准固结试验, 进行了如下资料的分析:

1) 以孔隙比为纵坐标, 以压力的对数为横坐标, 绘制孔隙比与压力的对数关系曲线, 然后采

用Casagrande法^[7]估算前期固结压力 (P_c)。典型试样的曲线如图1所示。

2) 按照Taylor时间平方根法^[8], 绘制了在某一级压力下, 以试样的变形为纵坐标, 时间平方根为横坐标的关系曲线, 求得固结度达90%的时间 t_{90} , 计算 t_{90} 该级荷载下的固结系数。典型试样的曲线如图2所示。

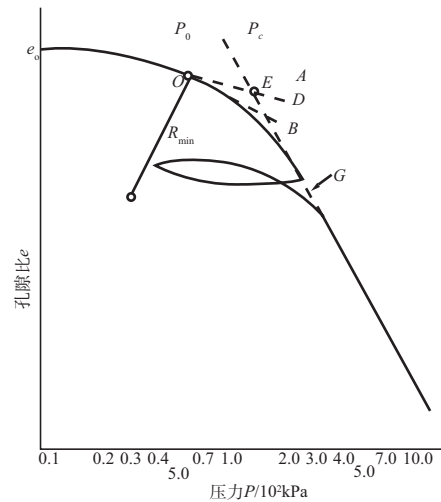


图1 e-lgP曲线求 P_c

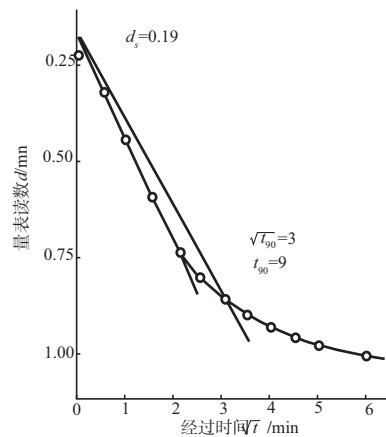


图2 时间平方根法求 t_{90}

2 不同荷载下固结系数与前期固结压力的关系

本次研究进行的高压固结试验获得了不同荷载下 (荷载倍增进行加压) 的固结系数及前期固结压力, 典型的固结系数与前期固结压力统计如表2所示。

表2 不同荷载下固结系数及前期固结压力

压力 P/kPa	0	6	12	25	50	100	200	400	800	1 600
固结系数 $C_v/(\text{m}^2\cdot\text{y}^{-1})$		10.40	9.36	7.89	6.66	2.83	3.07	3.37	3.59	3.82

注: 前期固结压力 P_c 为 50.000 kPa 。

统计分析表明，软土屈服前固结系数大于屈服后，即施加荷载小于或等于前期固结压力，固结系数值主要在6.5~10.5 m²/y范围；软土屈服后，即施加荷载大于前期固结压力，固结系数值主要在2.5~4 m²/y范围；软土屈服前的固结系数约为屈服后的2.5~4倍，显示出突变性，这点与Robert的研究具有较好的一致性。图3是典型的荷载与固结系数关系曲线（P-C_v曲线），很好地显示了上述变化规律。

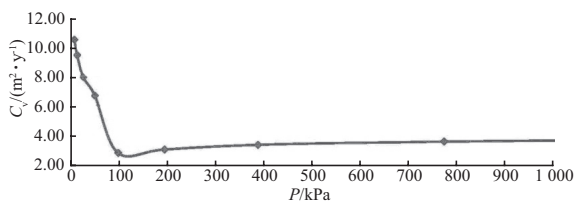


图3 P-C_v曲线

3 软土屈服前固结系数变化特征

图4为软土屈服前典型的固结系数随荷载变化的关系（P-C_v曲线）。曲线显示固结系数与荷载呈现如下的线性关系：

$$C_v = 10.464 - 0.0811 P \quad (1)$$

线性相关系数R=0.965，相关性很好，因此式（1）可以做为珠江三角洲入海口软土层屈服前的归一化公式进行运用。线性相关表明，在正常固结状态下，当应力水平小于前期固结压力时，固结系数随应力水平的增加而减小。以上结果与余闯等的结论相反，也与Robert的观点略有不同，显示出不同地域不同的变化特点。

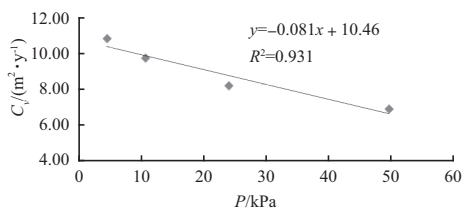


图4 软土屈服前P-C_v曲线

4 软土屈服后固结系数变化特征

图5为软土屈服后典型的固结系数随荷载变化的关系图（P-C_v曲线）。曲线显示固结系数与荷载呈现如下的线性关系：

$$C_v = 2.9674 + 0.0006 P \quad (2)$$

线性相关系数R=0.919，相关性很好，因此

式（2）可以作为珠江三角洲入海口软土层屈服后的归一化公式进行运用。线性相关表明，在正常固结状态下，当应力水平大于前期固结压力时，固结系数随应力水平的增加而增大。以上结果与Robert及余闯等的结论相反，显示出不同地域不同的变化特点。

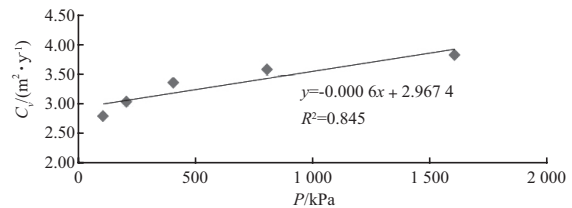


图5 软土屈服后P-C_v曲线

5 结论

1) 正常固结状态的软土屈服前，即施加荷载小于或等于前期固结压力，固结系数值主要在6.5~10.5，固结系数呈线性减小的趋势；正常固结状态的软土屈服后，即施加荷载大于前期固结压力，固结系数值主要在2.5~4，固结系数呈线性增加的趋势；软土屈服前的固结系数约为屈服后的2.5~4倍，显示出固结系数在软土屈服前后的突变性。上述这种屈服前后固结系数的倍数关系侧面反应了施加荷载小于前期固结压力时，对软土的影响远小于施加荷载大于前期固结压力时。

2) 研究结果为港珠澳岛隧工程软土处理及地基沉降提供了很好的分析依据，特别是针对软土层上不同荷载大小构筑物随时间变化的变形分析具有极好的指导意义。

3) 本研究并未进行整个珠三角软土分析，主要运用于珠三角入海口软土层，但可以作为珠三角一带软土运用的参考。

参考文献：

[1] Karl T, Ralph B. Peck G, et al. Soil Mechanics in Engineering Practice[M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1996.

[2] Lowe J, Jonas E, Obrician V. Controlled gradient consolidation test [J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division: ASCE, 1969, 95: 77-97.

[3] Robert W D. Foundation Engineering Book[M]. International Code Council, ASCE, 2009.