

固结试验及其相关问题的讨论

施建勇¹, 问延煦¹, 雷国辉¹, 艾英钵¹, 赵 阳²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省高速公路建设指挥部, 江苏 南京 210004)

摘要 固结系数是岩土工程中较常采用的计算参数之一, 大量的实际工程计算与监测结果表明, 试验得到的固结系数偏小. 为了探讨固结试验过程的内在特征, 将常规固结试验仪器进行了改进, 使其能够进行土样底部的孔压测定. 经过 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa 3 个不同固结压力下的固结试验, 分析了试样底部的孔压上升规律与太沙基固结理论差异的原因. 通过减小土样与仪器侧壁摩擦的对比试验, 使上述差异得到一定的改善. 又通过全自动应力路径三轴试验, 分析了其他因素对固结试验的影响.

关键词 固结系数 孔压 摩擦 固结仪 三轴试验

中图分类号 :TU411 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2004)02-0213-03

固结试验是岩土工程中的常规试验, 是测定表征土体固结快慢的特征参数——固结系数的主要试验方法. 关于如何进行试验及确定固结系数的方法, 如反弯点法、时间对数法、时间平方根法等, 一般教科书和试验规程都有介绍. 在利用这些方法确定固结度时, 是以试验中测得的变形-时间关系曲线为基础, 对太沙基固结理论固结度计算公式进行简化, 推导出固结系数的近似计算公式. 从现有计算结果可知, 运用上述方法确定的固结系数的变化范围在 1% ~ 2% 之间, 是非常有限的^[1]. 其他文献^[2] 记载的不同试验方法确定的固结系数差别也不大. 因此, 仅从现有确定方法的计算结果来看, 固结系数确定的方法有一定的合理性和足够的精确度. 固结试验作为确定固结系数的基本试验, 已被工程界接受, 然而对试验中的一些本质性的问题并没有去深究. 本文进行了土样底部可测孔压的固结试验, 根据试验中发现的一些现象进行了相关的对比试验, 但仅就现有的试验现象进行初步讨论, 而未从根本上解决固结系数的确定问题.

1 底部可测孔压的固结试验

1.1 试验仪器及方法

为了观察压缩试验时土样中孔压的消散情况, 在常规压缩仪的基础上, 研制了底部可测孔压的压缩仪. 该压缩仪主要由三部分组成, 其简图如图 1 所示. 试验采用杠杆式加压, 除加压框架略高外, 其他与常规压缩仪相同. 孔压量测由一个孔压传感器及与之相连的孔压数字仪组成, 可随时测出土样底部孔压的大小, 精度为 1 kPa. 试样盒由护环、底盘、透水石及加压上盖组成. 护环下部带螺丝, 试验时牢牢地拧在底盘上, 以防止底部漏水. 试样盒下部有滤水的槽, 并在中间通过一个小孔与孔压传感器相通.

试验所用土样为粉质粘土, 其物理性质指标如表 1 所示.

表 1 试样物理性质指标

Table 1 Physical indexes of soil sample

密度/(g·cm ⁻³)	含水量/%	土粒相对密度	孔隙比	液限/%	塑性指数
1.97	30.0	2.73	0.8	34.2	13.2

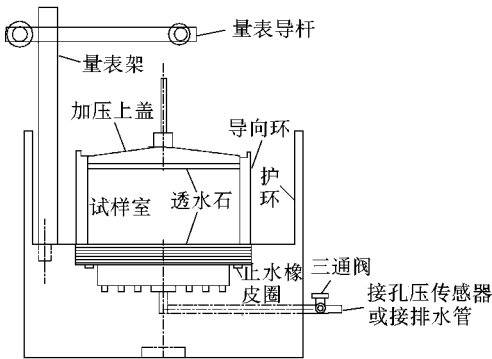


图 1 底部可测孔压的压缩仪

Fig. 1 Oedometer for measuring pore pressure at bottom

试验采用制备的重塑饱和土样,试样尺寸和试验方法与常规饱和土样的固结试验相同,并保证土样底部的透水石和管道充分排气而不含气泡.

1.2 试验结果及其分析

1.2.1 固结试验的变形-时间曲线和孔压-时间曲线

试验固结压力分别为 100 kPa,200 kPa,400 kPa,其中固结压力 200 kPa 的试验曲线如图 2,3 所示.

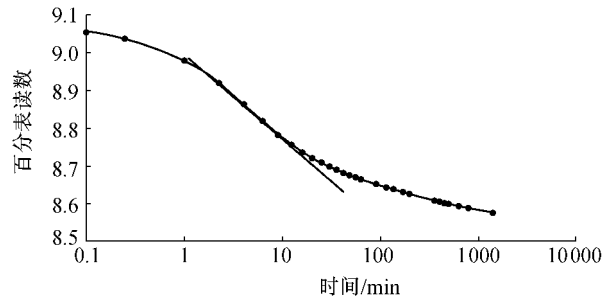


图 2 固结试验曲线

Fig.2 Curve of consolidation test

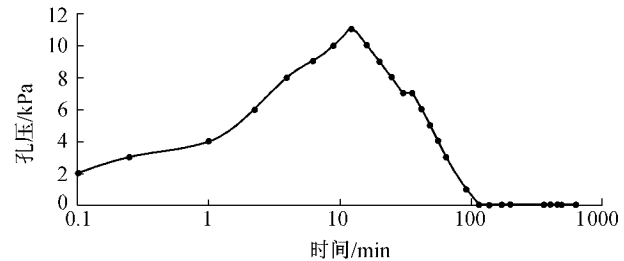


图 3 底部孔压与时间关系曲线

Fig.3 Pore water pressure at bottom versus time

由图 2 和图 3 可见:(a)荷载施加结束后,土样中的孔压(试验仅测得底部)没有立即上升到所施加的固结压力;(b)孔压上升到峰值有一滞后过程,且峰值远低于固结压力;(c)在固结试验的百分表读数与时间关系曲线上,主固结完成时,测量的孔压并没有完全消散.固结试验结果见表 2.

根据荷载施加后土样底部孔压测量结果的分析,峰值孔压滞后有可能是土样与仪器侧壁摩擦引起的.为了分析侧壁摩阻力对试验结果的影响,进行了减小侧壁摩阻力的对比试验.试验方法与上述相同,只是在护环中注入无气水之前,将薄膜两面均涂上凡士林并贴于护环内壁上,这样可使土样与护环内壁的摩擦转化为薄膜与内壁的摩擦,从而可减小侧壁摩阻力.

1.2.2 减小侧壁摩阻力后固结试验的变形-时间曲线和孔压-时间曲线

试验固结压力分别为 100 kPa,200 kPa,400 kPa,其中固结压力 200 kPa 的试验曲线如图 4,5 所示.

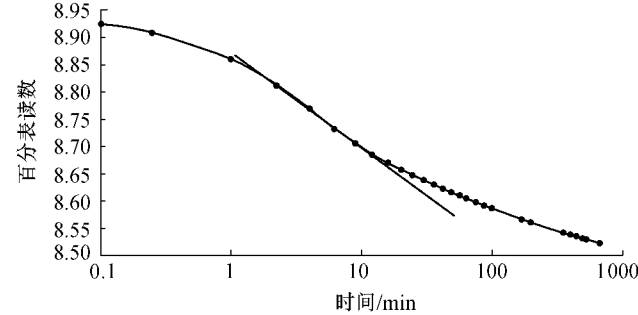


图 4 减小侧壁摩阻力后固结试验曲线(200 kPa)

Fig.4 Curve of consolidation test after decrease of lateral friction

从试验结果可见,减小侧壁摩阻力后测得的底部孔压峰值有一定的上升,但滞后时间和剩余孔压没有太大的改进.减小侧壁摩阻力后的试验结果见表 3.

虽然本次试验部分地消除了侧壁摩阻力,但从试验结果可见,它对固结试验结果的影响还是很明显的.

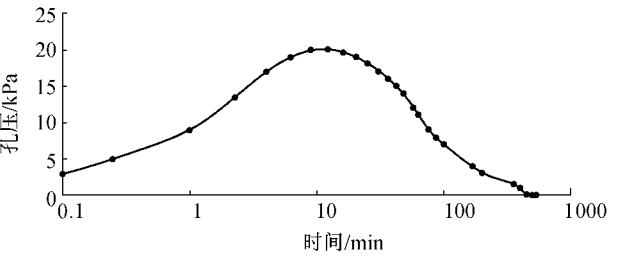


图 5 减小侧壁摩阻力后底部孔压与时间关系曲线(200 kPa)

Fig.5 Pore water pressure versus time after decrease of lateral friction

表 3 减小侧壁摩阻力后的试验结果

Table 3 Results from test after decrease of lateral friction

固结压力 /kPa	底部孔压峰值 /kPa	滞后时间 /min	剩余孔压 /kPa
100	10.1	9	3.5
200	20.0	10	17.0
400	33.1	13	28.0

2 全自动应力路径三轴试验

在三轴试验中,如果试样不完全饱和,在围压作用下

产生的孔隙水压力也会低于围压值.为了解围压作用下孔压的变化过程,在GDS型全自动应力路径三轴试验仪上进行围压作用下孔压变化的过程试验.图 6 是在反压 100 kPa、围压 150 kPa 作用下固结完成后施加 100 kPa 围压后孔压的变化过程线.

由图 6 可见,围压作用下孔压的变化有滞后现象,且测得的孔压约为围压的 84%.通过类似试验发现,饱和度越高,滞后时间越短,孔压上升越接近于围压值.因此,饱和度也是影响孔压生成和消散的原因之一.

另外,从有些现场试验也发现^[3],监测的孔压峰值比实际荷载的施加要稍滞后一段时间^①.

3 结 论

- a. 从底部可测孔压的固结试验中发现了常规固结试验中与太沙基固结理论假设不完全吻合的现象,这一现象对进一步分析固结过程有启发作用.
- b. 在常规固结试验中测得孔压滞后和偏低的原因之一是土样与仪器的侧壁有摩擦,即使在试验前按试验规程进行仪器侧壁的减摩处理,也并不能完全消除侧壁摩擦的影响.
- c. 土样饱和度也是造成孔压滞后和偏低的另一原因.在一般的固结试验中,试样难以达到完全饱和,这将影响试验结果.
- d. 在固结试验曲线上确定的固结完成点对应的孔压过程线上的孔压并未完全消散,剩余的孔压约为所加荷载的 3% ~ 8%,这是值得注意的问题.

参考文献：

[1] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京 水利电力出版社,1996.202—206.
[2] HOSSAIN D. Discussion of engineering geology[J]. Journal of Geotechnical Engineering,1995, 12(3) 514—526.
[3] 王祥.软基处理中孔隙水压力变化规律及固结分析[J].路基工程,2001,(2) 5—9.

Discussion on consolidation test and some relative problems

SHI Jian-yong¹, WEN Yan-xu¹, LEI Guo-hui¹, AI Ying-bo¹, ZHAO Yang²
(1. Geo-technical Research Institute of Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Jiangsu Provincial Highway Construction Headquarters, Nanjing 210004, China)

Abstract :The consolidation coefficient is an important parameter in geotechnical engineering. Results from calculation and observation in practical projects show that the consolidation coefficient obtained from experiments is normally underestimated. To probe the intrinsic behavior of soil during the process of consolidation tests, the conventional oedometer is improved so that it can measure the pore pressure at the bottom of soil specimen. Consolidation tests are performed under three different consolidation pressures, i. e. 100 kPa, 200 kPa, and 400 kPa, for analysis of the regularity of the increase of the pore pressure at the bottom of soil specimen and the cause of discrepancy against Terzaghi's consolidation theory. By decrease of the friction between soil samples and sidewall of instruments, the discrepancy decreases to a certain degree. Besides, the effects of other factors on the consolidation test are analyzed by automatic stress-path controlled triaxial tests.

Key words : consolidation coefficient ; pore pressure ; friction ; oedometer ; triaxial test

① 广东省航务工程公司,广东省高速公路公司.深汕汽车专用公路第四合同段软基试验工程阶段试验报告.1993.

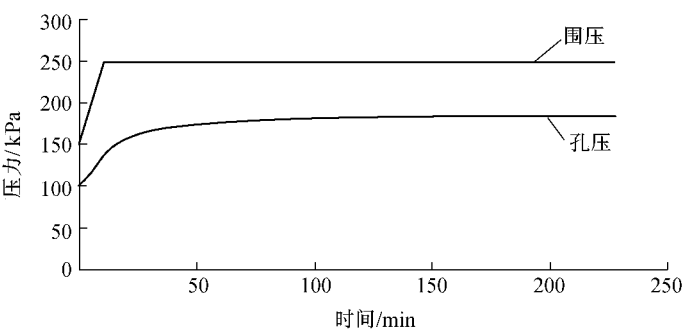


图 6 围压作用下孔压变化过程线
Fig.6 Curve of pore water pressure under confining pressure