

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2021.03.016

【一题一议】

## 小议固结试验起始值的选取

包承纲

(长江科学院, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 30多年前, 深圳国际机场正在筹建中。机场场道地基上层为十来米厚的淤泥层, 其下为三十余米的残积土层, 该软弱的淤泥土层必须处理。对处理方案曾有过争论, 深圳市政府为尽快建成机场, 支持彻底挖除淤泥再重新回填山皮土的“换填方案”。由于机场场道的工后沉降要求较严, 不大于5 cm (一度要求小于3 cm), 经计算, 由残积土层引起的计算工后沉降过大, 超过此限值, 此事曾一度影响工程的正常进行。经多方研究, 才发现出问题出在固结系数的测定方法上。本文结合此实例小议固结试验起始值的选取, 供试验方法规程制定者参考, 也供后续类似工程参考。

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)03-0268-03

### Discussion on selection of the initial value of the consolidation test

BAO Cheng-gang

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** More than 30 years ago, Shenzhen International Airport was under construction. The upper layer of the airfield track foundation is about 10 m thick silt layer, and the lower layer is about 30 m residual soil. In order to construct the airport as fast as possible, the government supported the “reclamation plan” of completely replacing the dredging silt with mountain soil. However, the calculated settlement which was influenced by residual soil layer exceeded the strict post-construction settlement requirements (settlement less than 5 cm) for airport. After deep investigation, the problem was found and it was the determination method of consolidation coefficient that led to large settlement. This paper introduces the study process and focuses on the selection of the initial value of the consolidation test. This study is of great importance, and provides valuable reference for the test method regulation maker, and similar projects.

笔者从开始接触岩土领域至今已六十有五年了。其间有过许多教训, 也有一些经验, 这里谈及一个小经验。

事情要追溯到30多年前, 即上世纪80年代末, 那时深圳机场正在筹建。市政府急于早日建成机场, 以发展经济。但场址濒临海边, 地层十分软弱, 根据南京一家勘测公司的勘测报告, “机场所处的地貌属海积平原及海积滩地, 从上至下有全新世海积层(I)、上更新世冲洪积层(II)及中更新世残积层。工程性质很差”。简单地说, 就地基的土性而言, 上面一层是十来米厚的淤泥层, 其下是厚达三十多米的残积土层, 要建机场场道, 这个软弱地基必须处理。

有关单位最早提出的处理方案是砂井排水固结法, 这是一种经典的方法, 本无可非议。但政府

有关主管部门嫌此法太慢, 且当时国内开展大规模建设不久, 对此法还不熟悉, 所以想寻找更直观、更好的方法。这时长江水利委员会设计院提出, 用拦淤堤将跑道地基围起来, 然后挖去淤泥层, 再回填好土(山皮风化土), 这是一个大胆而新奇的处理方案, 很直观, 也很彻底。但这个方案以往从未听说过, 国际国内机场的软基处理也无人用过。很难想象, 在稀汤汤的十来米厚的淤泥层上, 要打下道几千米长、穿过淤泥层并着底的拦淤堤, 这堤如何打? 打下去站得住吗? 在两道拦淤堤中间还要挖去几百万方处于流态的淤泥(搅动后将成泥浆), 用什么工具挖呀? 挖得干净吗? 挖后是否又流回来? 回填工作又该如何进行? ……如此等等, 真是疑窦连连, 不可设想!

许多技术人员都怀疑它的可行性与可靠性, 有

收稿日期: 2021-06-01

作者简介: 包承纲(1935—), 男, 浙江宁波人, 教授级高级工程师, 现为国际土工合成材料工程学会中国委员会主席。E-mail: cgbao35@sina.com。

的把这方案戏称为“大挖大填”，好奇者则要看看到底会搞成什么样子。但当地政府却十分欣赏这个方案，认为把淤泥都挖掉不是很彻底吗？而且速度快，工期短，深圳正等着用机场呢！所以他们极力支持这个方案。于是围绕机场场道软基处理方案发生了一场不小的争论。与此同时，长江委设计院的设计人员却成竹在胸，信心十足，因为虽然这在一般土建行业从未见过，但曾有水利工程有过类似的实践，只是处理的规模与深度不同罢了。他们认为，道理是相通的，只要认真细致去做就会成功。

但真正要在深圳机场用此方案还是非同小可，不仅难度大，工期紧，而且许多技术问题要重新研究和论证，实实在在是一场技术和施工的硬仗。概括起来有两大难题：一个是施工方法和施工队伍问题，这个问题很关键，施工队伍问题这里暂且不说，而就施工方法而言，简单地说，就是在淤泥层上倾倒入大量山皮土，再用重型强夯将其夯入淤泥层中并直达残积层，形成大体积的拦淤堤。用这种拦淤堤将场道四周围封后，再用大型索铲将围在中间的淤泥挖去，最后填入粗粒料夯实，即形成坚实的跑道地基，这样处理看得见、摸得着，心中有底，但难度是不容置疑的；另一个问题就是处理方案能否满足深圳机场跑道工后沉降的严苛要求。当时一般机场工后沉降的规定是 5 cm，而深圳曾一度要求 3 cm！这样就要求对此方案的工后沉降进行论证，证明此方案是可满足要求的。这后一问题就要靠土工研究人员来完成了。

上面已经提到，10 m 淤泥层已经挖掉，填以山皮风化土，这换填层不会有太大沉降发生，但下面三十来米残积土层会有沉降，这个沉降是否成为问题需要回答。众所周知，沉降计算方法很多，本不难算出结果，但采用规范法和有限元法弹塑性模型计算出的结果都超过了工后沉降 5 cm 的限值！显然，问题出在三十多米残积土层在施工期的沉降不够多，工程完工后的剩余沉降仍太大，怎么办？

我们反复检查整个计算过程，找不出什么毛病，但这结果无法论证方案是可以成立的，为此曾经困惑建设方和有关设计研究人员相当长的时间。但这个问题不解决，方案就不能批准，工程也无法开工。

当时笔者在武汉知道这个问题后到了工地，经多方核查，计算确无问题，但看到计算所用的原勘测报告残积土固结系数  $C_v$  为  $6.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，与一般黏土相似，而该土的渗透系数室内试验为  $1.02 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，现场抽水试验为  $9.13 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ，这两者就有矛盾了，若按固结系数与渗透系数之间的理论

关系去估算，这样的固结系数对应的渗透系数应为 ( $A \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ )，而实测值竟为 ( $A \times 10^{-3 \sim -4} \text{ cm/s}$ )，比估算值大 100~1 000 倍，两者差这么大！再从试验土样观察，似比较砂性，与一般黏土不同。因此认为固结试验有问题。为此，我们取样又在长科院试验室进行复核试验，结果与原勘测单位的成果基本一致，也是  $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。这就表明试验方法有问题了。笔者检查了试验的原始成果，确认固结试验是完全按试验规程进行的，成果的规律性也很好，看不出问题。再一看试验的固结曲线，发现曲线很平，曲线第一点是 15 s 读的，符合当时试验规程的规定。但问题就出在这里。对于一般黏土，其渗透性较低，取 15 s 为第一个读数是可行的（如图 1），但由于残积土的透水性较大，当加载后 15 s 读第一个试验值时，沉降已发生了很大一部分，因此所得的沉降曲线比较平坦， $C_v$  值也就比较小了。为此我们重新安排试验，使第一次读数在加载后尽快进行（2 s）。由此得到的  $t_{90}=0.0924 \text{ min}$ ，固结系数在  $1.30 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，相反，若按规程操作以 15 s 为第一读数，则  $t_{90}=3.8 \text{ min}$ ， $C_v=3.168 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，两者相差百倍左右（如图 2），这就是症结所在！问题找到了！于是采用新的固结系数试验值进行计算，工后沉降就满足要求了。并立即将此验证结果向深圳市汇报，方案很快得到批准，工程也顺利开工了。

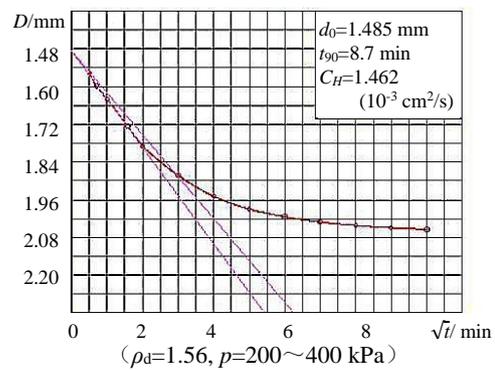


图 1 黏土的固结曲线（示意）

Fig. 1 Consolidation curve of the clay (schematic diagram)

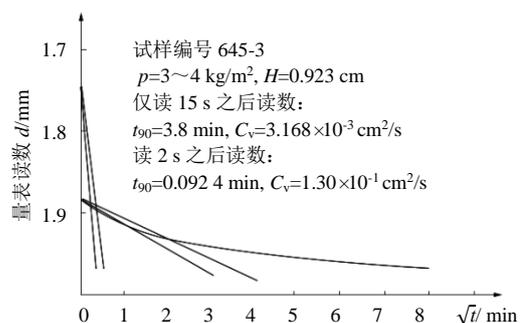


图 2 深圳残积土固结曲线成果

Fig. 2 Consolidation curve of residual soil in Shenzhen

通过这个事例笔者深刻体会到土工参数对工程的重要性, 这些参数必须准确测定, 而且土工参数的试验方法也要符合土的特性并适应工程的实际, 否则反而混淆视听, 徒增麻烦。最近笔者查阅了现行土工试验规程, 发现固结试验的第一个读数是 6 s, 说明已经注意到这个问题了。但是对渗透性较大的壤土或砂壤土, 残积土等, 是否可以更早取得第一个读数呢? 这个问题值得研究。当然首先实验仪器是否需作相应改进, 如采用自动加载、自动读数的方式, 这也需要进一步研究的。

深圳机场按此方法施工, 于次年顺利建成运

行。在场道正式运行前, 我们还采取了另一个措施, 因为海边的地下水位较高, 故在施工期把换填地基的高地下水位抽干使其在有效荷载下固结。当场道正式运用时, 再把地下水位恢复高位的常态, 使换填层土的容重由湿容重变为水下容重, 以减少残积土层的工后沉降。经上述处理的跑道运行良好。据测定, 跑道基础的工后沉降远小于规定值, 有的甚至测不出工后沉降。机场运行良好, 对深圳市的经济发展发挥了巨大的作用。深圳机场场道处理方法, 虽然未见在其他类似地基处理工程中应用, 但残积土沉降研究中的这点小经验则还是值得参考的。

## 【简 讯】

### 2021 年第五届土木工程国际会议 (ICCVIL 2021)

2021 年第五届土木工程国际会议将于 2021 年 11 月 26—28 日在中国西安召开。会议为广大从事土木工程相关领域的研究学者、专家提供交流平台。会议组委会诚邀全球相关领域的学者、专家参加此次国际会议, 就相关主题的热点问题探讨、交流, 共同促进全球土木工程的发展。

#### 会议主题:

测绘、海岸工程、建设工程、地震工程、环境工程、岩土工程、结构工程、交通工程、水资源工程等

#### 重要日期:

截稿日期: 2021 年 9 月 10 日

会议日期: 2021 年 11 月 26—28 日

录用通知: 投稿后 20~40 天

论文出版: 收到最终稿后 15~20 天

#### 会议征稿:

本次会议接受中文及英文原创性文章

本次会议接受摘要或全文投稿

#### 投稿指南:

(1) 请您通过会议投稿系统进行投稿:

<http://www.tougao123.net> (中文投稿网址)

<http://www.papersubmission.net> (英文投稿网址)

(2) 论文格式: doc、docx

(3) 论文长度: 6~12 页 (论文超过 12 页, 超页部分每页将加收 300 元)

#### 联系方式:

会务、论文出版: [conference123net@126.com](mailto:conference123net@126.com)

申请演讲嘉宾: [keynotespeaker@126.com](mailto:keynotespeaker@126.com)

加入委员会、审稿组:

[joinconference123@126.com](mailto:joinconference123@126.com)

座机: 021-51098086

手机: 0086-18101720867 (推荐使用)

会议网址: <http://www.iccivil.org/2021/cn/home>