

塑料排水板超载预压法在顺德市道路建设中的应用

薛伟强¹, 李菊凤²

(1. 顺德市公路建设公司, 广东 顺德 528300; 2. 中国地质大学环境学院, 武汉 430074)

摘 要: 采用塑料排水板超载预压法进行特殊路基的设计和施工, 并通过对软土路基的变形监测结果进行了分析, 评价其安全性。监测结果分析表明, 在等量超填土 4.5 t/m^2 预压 3 个月后固结度普遍达到 85% 以上, 软土路基固结速度很快, 且路基在堆载过程中是安全稳定的。实践证明, 用塑料排水板超载预压法处理深达 20 余米、承载力极低的淤泥质粉质粘土排水效果明显, 设计与施工方案是可行的。

关键词: 软土地基; 塑料排水板; 堆载预压; 固结度; 变形监测

中图分类号: TU714

文献标识码: A

文章编号: 1671-1556(2005)03-0091-04

Application of Surcharge Preloading with Plastic Drainage in Road Building of Shunde City

XUE Wei-qiang¹, LI Ju-feng²

(1. The Road Construct Corporation of Shunde City, Shunde 528300, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The paper introduced the application case and measurement on the spot with surcharge preloading plastic drainage to treat soft ground in the roadbed of silty and powdery clay of Shunde City. The statistical analysis of the result of deformation monitoring indicated that the consolidation was very fast and the roadbed was steady and safe in the stack process. This technique of municipal road construct is feasible in the design and the construction of project.

Key words: soft ground; plastic drainage; surcharge preloading; degree of consolidation; deformation monitoring

0 引言

软土一般是指抗剪强度低、压缩性较高、渗透性较小、结构性较强的淤泥、淤泥质土, 其变形特点为沉降量大、稳定所需时间长、侧向变形较大。该类软土在我国沿海、河、湖地带广泛分布, 其形成年代一般比较久远, 沉积厚度比较大, 表面常有可塑的硬壳层^[1]。

位于珠江流域德胜水道北岸的顺德新城区, 属于典型的河川冲积区, 软土层基本遍布全区, 平均厚度在 20 m 左右。地下水位普遍较高, 含水量达饱和, 土体呈流塑态。各软土层的物理力学性质指标

见表 1。

顺德新城区市政基础工程是在约 7 km^2 内建立顺德中心城的道路骨架, 实施过程须全面解决普遍存在的软土地基的稳定性问题。

路堤排水固结法最为常见的做法是通过砂垫层将地下水引出路堤边坡以外进行自然排放, 新城区的特点是属于成片开发的城市道路网状结构, 地面自然标高平均为 1.5 m 左右, 地下水位标高接近 1.0 m, 全区地势平坦, 有大面积的鱼塘存在, 道路沿线两侧地块基本与路堤同步填筑。针对新区的工程地质条件, 确定采用塑料排水板超载预压的设计方案。

表1 各土层物理指标统计

Table 1 The statistics of physical characteristics of each earth layer

| 土层名称 | W/% | γ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | 相对密度 | 孔隙比 e | $K_v/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$ | 压缩系数 $A/(\text{MPa}^{-1})$ | 抗剪强度 $C/(\text{kPa})$ | $\phi/^\circ$ | 固结系数 $C_v/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ |
|---------|------|---|------|---------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|---|
| 耕植土 | | 1.82 | | 1.10 | 4.0×10^{-8} | 4.53 | 17.8 | 16.1 | |
| 淤泥质粘土 | 43.7 | 1.69 | 2.68 | 1.48 | 3.8×10^{-7} | 2.00 | 7.7 | 9.3 | 2.3×10^{-3} |
| 淤泥质粉质粘土 | 40.3 | 1.74 | 2.69 | 1.26 | 6.4×10^{-6} | 2.70 | 8.5 | 12.0 | 4.0×10^{-3} |
| 粉砂 | 25.2 | 1.91 | 2.70 | 0.79 | | 8.69 | 8.0 | 27.2 | |
| 粉质粘土 | 26.1 | 1.98 | 2.71 | 0.73 | 4.7×10^{-5} | 5.27 | 15.0 | 9.7 | 3.8×10^{-3} |
| 淤泥 | 57.8 | 1.59 | 2.67 | 1.59 | 8.5×10^{-8} | 2.46 | 5.9 | 6.3 | 4.8×10^{-4} |

1 设计原理与方法

塑料排水板法和砂井法同属于排水固结法,其加固原理是相同的,都是通过在软土地基中设置的竖向排水体改变原有地基的边界条件,增强孔隙水的排出途径,大大缩短软基的固结时间^[2]。

1.1 设计原则

地基处理后固结沉降指标要求:工后沉降 ≤ 25 cm;差异沉降 $\leq 0.1\%$;固结度达到85%以上(固结度应通过沉降曲线确定)。

为达到上述设计要求,可确定设计原则为:①本着满足经济合理、因地制宜、就地取材的原则选择填料;②满足路面对地基沉降的要求;③技术可行、可操作性强、符合场地的实际情况;④适合当地的施工水平、施工机械和施工经验,施工方法简便易行,能满足工期的要求。

1.2 设计理论

塑料排水板的计算采用砂井一维固结理论。

(1)将塑料排水板按周长折算为换算直径:

$$d_w = \alpha \times 2(b+s)/\pi$$

式中: d_w 为塑料排水板换算直径(cm); α 为折减系数,一般取0.75; b 为排水板宽度(cm); s 为排水板厚度(cm)。

(2)按砂井固结理论计算经预压固结后软基的固结度:

$$U_r = 1 - e^{-8} T_h / F(n)$$

式中: $F(n) = \frac{n^2 \ln(n)}{n^2 - 1} - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$; $T_h = C_h \cdot t/d_e$,其中, C_h 为竖向固结系数(cm^2/s); d_e 为塑料排水板影响直径(cm); n 为固结时间(t)。

1.3 塑料排水板的长度和间距

国内外的软基加固经验表明:软土地基加固的成功与否,与垂直排水通道的施工质量和性能有很大的关系。利用塑料排水板作垂直排水通道进行软

土地基加固必须合理地确定塑料排水板的质量参数和技术指标。塑料排水板的布设主要是确定长度、井径、间距等指标^[3]。

对于塑料排水板在计算时要根据与袋装砂井周长相等的原则进行当量直径的换算:

$$D_p = 2 \times \alpha \times (b + \delta) / \pi$$

式中: D_p 为当量直径(cm); α 为排水板在周围土压作用下,透水能力的折减系数,一般取0.75; b 、 δ 分别为排水板的宽度与厚度(cm)。

按一般排水体尺寸,由上式计算的 $D_p \approx 5$ cm,但是考虑施工中的工艺要求,袋装砂井直径一般不小于7 cm,所以换算塑料排水板直径取7~10 cm为宜。

一定附加荷载条件下排水体间距越小越有利于地基的排水固结,排水体的作用也就越显著,所以间距通常以1~2 m为宜。排水体的布置可以按正方形或等边三角形布置。

通过给定荷载、预压时间、允许工后沉降及软土的物理力学指标,我们可以确定塑料排水板的规格、间距、长度,如果再确定了规格和间距,就可以唯一的计算出长度,而且工程实践证明,塑料排水板一般应采取短而密的原则为好。

我们在进行试验段塑料排水板长度计算时,通过改变排水板的间距和长度,计算不同情况下的总沉降量和工后沉降量,选择满足工后沉降量的间距和长度组合,再根据实际的土层情况,确定排水板的设计间距和设计长度。

在计算时,采用经验系数法计算软土地基沉降,沉降系数选定 $m=1.25$,主固结沉降采用 $e-p$ 曲线法,固结度计算采用微分方程数值解法,压缩层厚度判断应力比为15%。

根据以上计算并做实际修改后,排水板间距定为120 cm,呈等边三角形布置,长度15~20 m不等。

2 施工工艺与技术

2.1 超载预压法施工

施工内容和流程如下:

场地清理→铺土工布→铺砂垫层→挖盲沟、安

集水井→插塑料排水板→路基填筑、反压护道填筑→堆超载土→卸载,同时进行施工检测和施工观测,填筑和预压期进行集水井抽水等。

2.1.1 场地清理和平整

拆除、迁移场内现有建筑设施和障碍物;清除场内块石、树木、根植物和塘埂;抽干场内积水,使场地

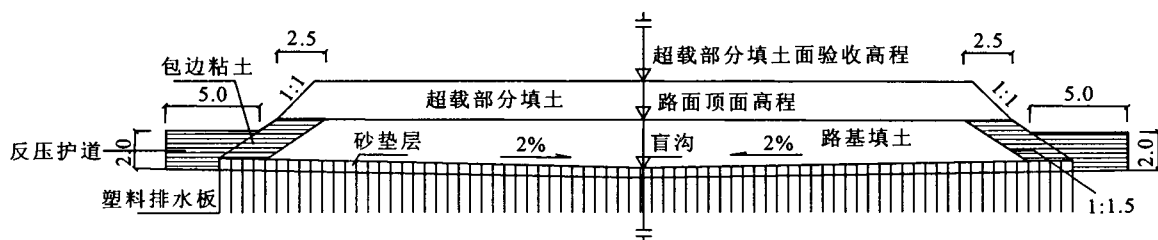


图1 路基软基处理横断面示意图(单位:m)

Fig.1 The transect sketch of soft ground treatment

平顺,无杂物,无积水。鱼塘部分首先采用非透水性粘质土回填,平整后的设计控制标高为1.0 m。

2.1.2 铺土工布

(1)土工布的质量要求(主要指标):单位质量 $\geq 200 \text{ g/m}^2$;抗拉强度 $>1750 \text{ N/50 cm}$;撕裂系数 $>534 \text{ N}$;圆球顶破强度 $>1800 \text{ N}$;渗透系数 $>1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

(2)土工布应采用双排线折叠缝合连接,接缝外缝合总宽度30 cm。

2.1.3 铺砂垫层

砂垫层铺于土工布上,材料为干净的中粗砂,其含混量不大于5%,细度模数不小于2.3,厚度为50 cm。

2.1.4 施工盲沟及集水井

(1)排水盲沟在砂垫层施工完成后施工,纵向布置在道路中轴线,横向每100 m布设一道;

(2)盲沟断面呈倒梯形,构造为土工布包裹3~5 cm级配均匀的碎石,土工布搭接长度不小于20 cm;

(3)每100 m布置一个集水井,设于土工布之上,集水井采用D700的钢筋混凝土管;

(4)在相临集水井中间位置作为分水点,对盲沟进行纵向找坡,坡度不小于1%。

2.1.5 塑料排水板的施工

(1)排水板的型号为SPB-IB型,尺寸为100 mm \times 4 mm,其抗拉强度、排水等指标均应符合规范要求;

(2)施工机具是插板机,插板使用DZ260KS塔型滚筒平移试打桩机,板位误差不大于5 cm,垂直

允许偏差不超过板长的1.5%;

(3)塑料排水板埋置深度以穿透软弱层为原则,设计平均深度为20 m。

2.1.6 反压护道

反压护道应用粘土分四层填筑,每层50 cm,并用推土机推平重叠轮迹碾压两遍。

2.1.7 路基填土

(1)路基填土可采用粉细砂,但两侧应用粘性土包边,包边宽度不小于2.5 m,边坡最大坡度为1:1;

(2)由于地基的沉降在不断进行,应考虑实际沉降情况,在超载前分层碾压达到路面高程;

(3)填土的松铺厚度随压实机具和方法而异,一般不大于30 cm,第一层可适当加厚,但不应超过50 cm;

(4)填土含水量应控制在最佳含水量 $\pm 2\%$ 的范围内,过干应适当洒水,过湿应适当晾晒;

(5)在填筑过程中,应控制填土速率,使地基处于稳定状态,其速率由现场观测结果确定。

2.1.8 超载预压、卸载

(1)在路基填土达到路面高程并经验收合格后,开始堆填超载土;

(2)超载土厚度为2 m或3.5 t/m²,分两层进行并控制填土速率;

(3)超载预压期不少于3个月并且固结度达到85%方可卸载。

3 工期和工后的变形监测

为了使工后沉降控制在允许的范围内,在路基

填土之前,在路基上每隔 100 m 设置一个监测断面,每个断面埋设三个沉降标和两个位移标,沉降标埋设在路基下,位移标埋设在路基之外。

沉降标由金属底板、金属测杆和保护套管组成。底板尺寸 50 cm×50 cm×1.2 cm,测杆采用 6 分暖气管,每节长度 50 cm,两端均有丝扣,以套箍相接。保护套管尺寸以能套住测杆并使标尺能进入套管为宜。随着填土的增高,测杆和套管亦相应接高,接高后的测杆顶面应略高于套管上口,套管上口应加盖,封住管口,避免填料落入管内而影响测杆下沉自由度,盖顶高出碾压面高度不宜大于 50 cm。

在施工期间应严格按照设计要求同步进行跟踪观测。每填筑二层(压实厚度 50 cm)应观测一次;路堤填筑完成后,堆载预压期间观测应视地基稳定情

况而定,一般半月或每月观测一次,直到预压期结束。当路堤稳定出现异常情况而可能失稳时,应立即停止加载并采取果断措施,待路基恢复稳定后,方可继续填筑。

4 地基处理效果分析

由实测的成果曲线推算最终沉降量和工后沉降量的方法很多。笔者经过对比分析,认为采用三点法(即指数曲线配合法)与实际结合状况较好,而且计算简便。根据实测的沉降过程线,得出各点的最终沉降、剩余沉降和固结度。

下面以表 2 中所列的部分路段的沉降观测成果加以说明:

表 2 沉降观测成果表

Table 2 The outcome of settlement observation

| 工程路段 | 观测断面 | 堆载完成时间 /(月·日) | 最后观测时间 /(月·日) | 满载历时 /d | 实测沉降 /mm | 推算最终沉降 /mm | 剩余沉降 /mm | 固结度 /% |
|------|---------------------|------------------|------------------|------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| 兴业路 | K ₀ +100 | 6.5 | 9.11 | 98 | 621 | 725 | 104 | 85.7 |
| | K ₀ +200 | 6.3 | 9.11 | 100 | 772 | 894 | 122 | 86.3 |
| | K ₀ +300 | 6.1 | 9.11 | 102 | 656 | 769 | 113 | 85.3 |
| | K ₀ +400 | 5.28 | 9.11 | 106 | 478 | 563 | 105 | 85.0 |
| 国泰路 | K ₀ +160 | 6.9 | 9.11 | 94 | 733 | 859 | 126 | 85.3 |
| | K ₀ +260 | 6.8 | 9.11 | 95 | 504 | 554 | 50 | 91 |
| | K ₀ +360 | 6.20 | 9.11 | 83 | 575 | 650 | 75 | 88.4 |
| | K ₀ +460 | 6.23 | 9.11 | 80 | 462 | 545 | 83 | 84.7 |

沉降速率对分析判断沉降的发展趋势,具有明显的直观性,本工程通过对各观测路段的沉降速率进行统计可知,多数的沉降速率均在 0.5~1.0 mm/d 之间,说明地基土的强度增长较快,排水效果明显。通过对布设在不同路段不同断面的侧向水平位移桩的观测,侧向水平位移为 5~10 mm,证明路基在堆载过程中是安全稳定的。

监测结果分析表明,在等量超填土 4.5 t/m² 预压 3 个月后固结度普遍达到 85% 以上,软土路基固结速度很快,实践证明,用塑料排水板超载预压法处理深达 20 余米、承载力极低的淤泥质粉质粘土排水效果明显,设计与施工方案是可行的。

另外,据有关分析资料可知,采用塑料排水板超载预压法处理软基的费用远小于利用粉喷桩处理。结合塑料排水板的处理效果,应该说塑料排水板超载预压法处理软基功效显著、费用低廉^[4,5]。

5 结 语

经过以上多种方法的分析比较,可以得出如下结论:塑料排水板超载预压法对于处理含水量较大的软土地基具有排水效果明显、地基土强度增长较快、施工期沉降量较大、工后沉降量小、对周边环境影响较小的特点,而且施工简单、节省工期、安全可靠、工程费用经济合理,可以在顺德市市政建设的软基处理工程中广泛应用。

参考文献:

- [1] 张文全. 地基处理手册[M]. 北京:人民交通出版社,1990.
- [2] 徐敦在. 地基土的加固技术及其新进展[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [3] 刘玉卓. 公路工程软基处理[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [4] 魏汝龙. 软土的强度和变形[M]. 北京:人民交通出版社,1987.
- [5] 叶书麟. 地基处理与托换技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986.