

厦门海沧体育中心软土地基处理技术综合应用

吴成扬

(福建水利电力职业技术学院,福建 永安 366000)

摘要:结合厦门海沧体育中心软基处理工程,介绍了采用堆载预压、强夯、振动碾压及水泥土搅拌桩分区处理滨海相沉积复杂软基的施工技术。

关键词:软基处理;堆载预压;强夯;振动碾压;水泥土搅拌桩

中图分类号:TU447

文献标识码:A

文章编号:1671-0436(2010)01-0005-04

A Comprehensive Application of Technology for Soft Foundation Treatment of Haicang Sports Center in Xiamen City

WU Cheng-yang

(Fujian College of Water Conservancy and Electric Power, Yong'an 366000)

Abstract: Combined with soft foundation treatment engineering of Haicang Sports Center in Xiamen city, this paper introduces the construction technique of using preloading method and dynamic compaction method and compaction by vibrating roller method and soil-cement deep mixing pile method to deal with complex soft foundation along coast divisionally.

Key words: soft foundation treatment; preloading; dynamic compaction; compaction by vibrating roller; soil-cement deep mixing pile

1 工程概况

厦门海沧体育中心项目位于厦门海沧兴港路(已建)东侧、湖岸3[#]路(拟建)南侧,主要建筑为3层的综合体育馆和门球馆及其一层地下室、篮球场,以及2层的主体育场。工程区域内机动车道南北向纵贯整个体育中心,与城市主干道连为一体,因此须按城市道路等级进行设计。主体育场东侧为海,已有海堤对工程区域起围护作用,地基处理须考虑已有海堤的安全稳定。

2 工程地质条件

场地地貌单元属滨海滩涂地貌,主要地层自上而下分为如下几层:

2.1 素填土

灰黄、灰褐色,松散~稍密,稍湿~湿。填料以残积土等黏性土和碎石组成,碎石含量35%~55%,回填时间小于5a,尚未完全完成自重固结,密实度和均匀性差。该层全场分布,层底埋深为0.4~7.3m,厚度为0.4~7.3m,一般为3~5m。该层力学强度较低,修正后的标贯击数 N 为3.9~14.3击,其平均值为8.3击。

2.2 淤泥

灰褐、深灰色,流塑,饱和。成分主要由黏、粉粒组成,含有机质及腐殖质,局部夹有细砂,光泽反应稍有光滑,韧性中等,弱摇震反应,干强度低。该层全场分布,顶板埋深0.4~7.3m,顶板标高-3.6~1.68m,厚度为2.1~23.7m。该层属高

压缩性土,含水量高(为 60%)、力学强度低,工程性能差,是地基处理的主要加固土层。

2.3 粉质黏土

黄褐、褐灰、灰白色,可~硬塑状,湿,成分主要由黏、粉粒组成,含石英中细砂 5%~15%,芯切面稍有光滑,无地震反应,韧性、干强度中等。层顶埋深 5.8~10.8 m,层顶标高 -7.58~-3.02 m,厚度为 1.5~12.3 m,一般为 3~6 m。该层属中等压缩性土,修正后标贯试验击数 5.9~18.7 击,标量击数标准值 11.7 击,力学强度中等。

2.4 残积砂质黏性土

灰黄、灰白色,可~硬塑,湿~饱和。原岩结构特征清晰,母岩为花岗岩,成分主要为矿物风化的黏、粉粒及残留石英颗粒,干强度、韧性中等。本层全场分布,顶板埋深为 5.0~19.5 m,顶板标高为 -16.49~-1.93 m,厚度为 0.5~27.0 m,一般为 6~15 m 左右。该层具有随深度增大,风

化渐弱,强度渐高的变化趋势,修正后标贯击数标准值 16.2 击,属中等压缩性土,天然状态下力学强度较高。

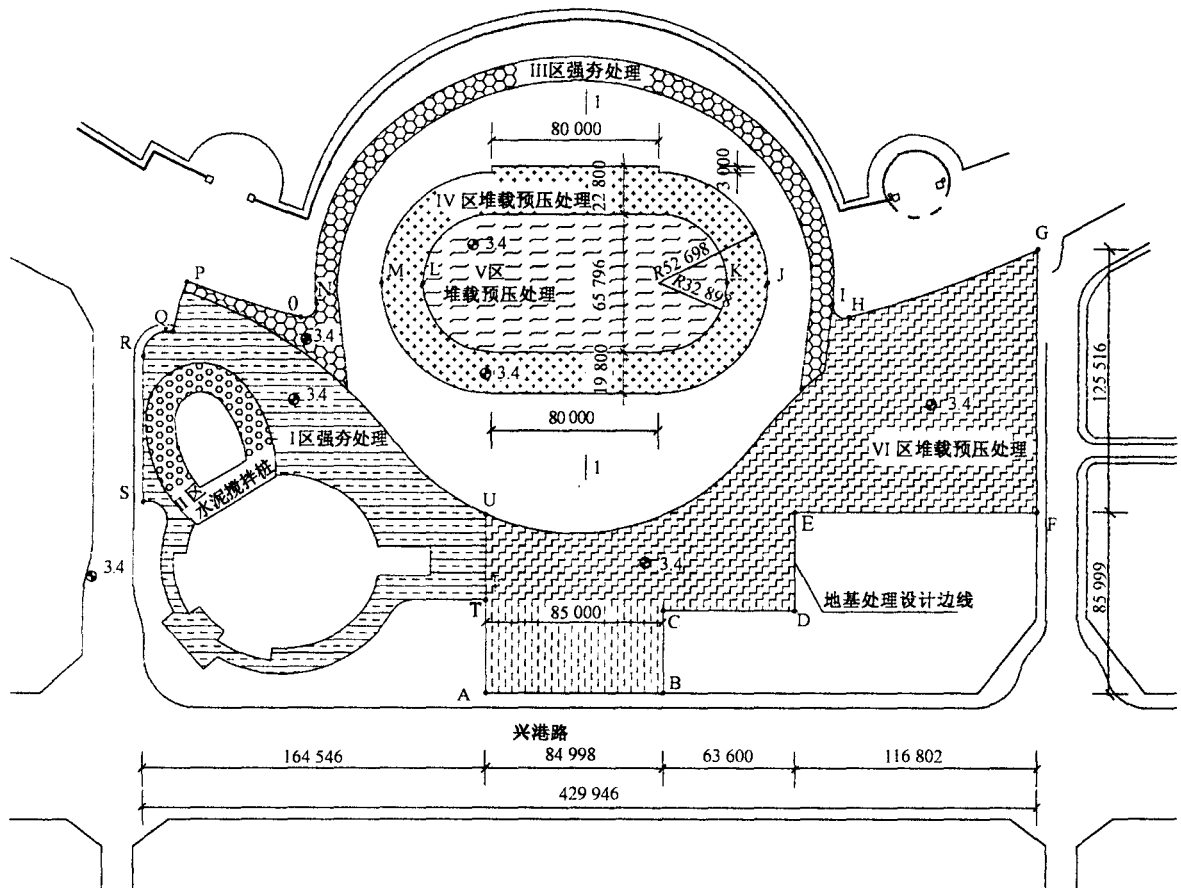
2.5 全风化花岗岩

灰黄、灰白色,成分以长石等矿物风化的黏、粉粒和石英矿物组成,风化剧烈,岩芯呈坚硬土状,手捏易散,岩石极易破碎,属极软岩,岩体基本质量等级为 V 级。本层局部分布,厚度为 2.1~14.1 m,一般为 4~8 m。本层力学强度较高,压缩性低,修正后标贯击数标准值 32.9 击。

3 软基处理

3.1 分区地基处理方案选择及其参数设计

本工程地质条件较复杂,淤泥层厚度及素填土覆盖层厚度变化大,地基处理须根据不同区域的淤泥层厚度及素填土覆盖层厚度不同,采取不同的地基处理方案。地基处理平面图如图 1 所示。



经分析,将场地分为以下几个区域分别进行处理:

I区:主要包括西北侧综合体育馆、门球馆和机动车道的北部,该区淤泥层较薄,且表层素填土覆盖层较厚,为减少地基沉降量对体育场馆的正常使用产生的不利影响,采用强夯、振动碾压综合加固处理方法进行地基加固处理。强夯加固采取2遍点夯,1遍普夯,点夯能量3 000 kN·m,夯点间距4 m×4 m;普夯能量1 000 kN·m。

II区:主要是对门球馆的独立基础下的天然软基进行处理,该加固区域为一环形区域,环形条带宽约14 m,面积约为2 393 m²。根据独立基础的承载力使用要求,该区域采用水泥土搅拌桩进行加固。搅拌桩间距1.3 m,正方形布置,桩径0.5 m,桩长须打穿淤泥层并进入下卧层不小于1.0 m。

III区:主要为环绕主体育场的消防通道,过大的沉降量将影响消防通道的正常使用,采用强夯、振动碾压综合处理方法进行地基加固处理。由于使用荷载较小,强夯采用1遍普夯进行加固,普夯能量1 000 kN·m。消防通道宽6.0 m,加固范围为:通道边线向内侧3.0 m,外侧由于距红线较近,可强夯至工程设计红线。由上述原则确定的加固面积约为5 492 m²。

IV区:主要加固对象是主体育馆主跑道及练习跑道,由于该处淤泥层较厚,且跑道对差异沉降要求较高,为了将深层淤泥沉降消除,须采用加固深度较大的排水预压固结及强夯、振动碾压进行综合加固处理。加固范围为跑道边线向两侧各扩展5.0 m。堆载预压砂垫层厚1.0 m,堆载料厚2.0 m,强夯采用2遍点夯,1遍普夯,点夯能量2 000 kN·m,普夯能量1 000 kN·m。

V区:主要加固对象是主体育馆内的足球场,该区域被IV区包围,由于该处淤泥层厚度与IV区同样较厚,且足球场对残余沉降要求也较高,为了将深层淤泥沉降消除,须采用加固深度较大的排水预压固结及强夯、振动碾压进行综合加固处理。堆载预压砂垫层厚1.0 m,堆载料厚1.5 m,强夯采用2遍点夯,1遍普夯,点夯能量2 000 kN·m,普夯能量1 000 kN·m。

VI区:主要包括中央硬地广场、部分市政道路

以及停车场等区域,该区域淤泥层很厚,一般在11.0~23.0 m之间,为将淤泥层大部分沉降在施工期提前消除,须采用加固深度较大的排水预压固结及强夯、振动碾压进行综合加固处理。堆载预压砂垫层厚1.0 m,堆载料厚2.5 m,强夯采用2遍点夯,1遍普夯,点夯能量2 000 kN·m,普夯能量1 000 kN·m。

对于IV区、V区和VI区的地基处理方案,分析如下:

由于IV、V、VI 3个区域都需要采取加固深度较大的排水预压固结法。常用的排水预压固结法一般有真空预压法和堆载预压法,考虑到现场场地块石分布较多,且尺寸大,采用真空预压难以达到密封效果,因此推荐采用堆载预压方案。

由于本工程区域表层填土覆盖层中有较多的碎砖块以及碎石块,容易造成塑料排水板的损坏,并且排水板难以打穿该层,因此不宜采用塑料排水板作为堆载预压的竖向排水通道。而袋装砂井作为工程中常用的预压排水措施,不但排水效果良好,且施工方法具有沉管法和水冲法等多种方法,能够确保排水通道的安全、快速施工,因此,此工程采用直径为 $\phi 7$ cm的袋装砂井作为地基竖向排水通道。

由于各区域对地基工后沉降的使用要求有所不同,预压荷载大小及预压时间也有所不同,具体预压荷载及预压时间需根据沉降计算和固结度计算的结果确定。地基处理部分断面如图2所示。

3.2 理论计算

3.2.1 地基沉降计算

地基总沉降计算采用分层总和法,计算公式为:

$$S = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p}{E_{si}} h_i$$

其中, S 为最终沉降量(mm);

n 为压缩层范围的土层数;

E_{si} 为各土层的压缩模量(MPa);

Δp 为地基附加荷载(kPa),主要包括砂垫层荷载、真空(或者堆载料)荷载和沉降补填料荷载。

h_i 为第 i 层土厚度(m);

ψ_s 为沉降经验系数,对于淤泥土层,堆载预压方案沉降系数取1.4。

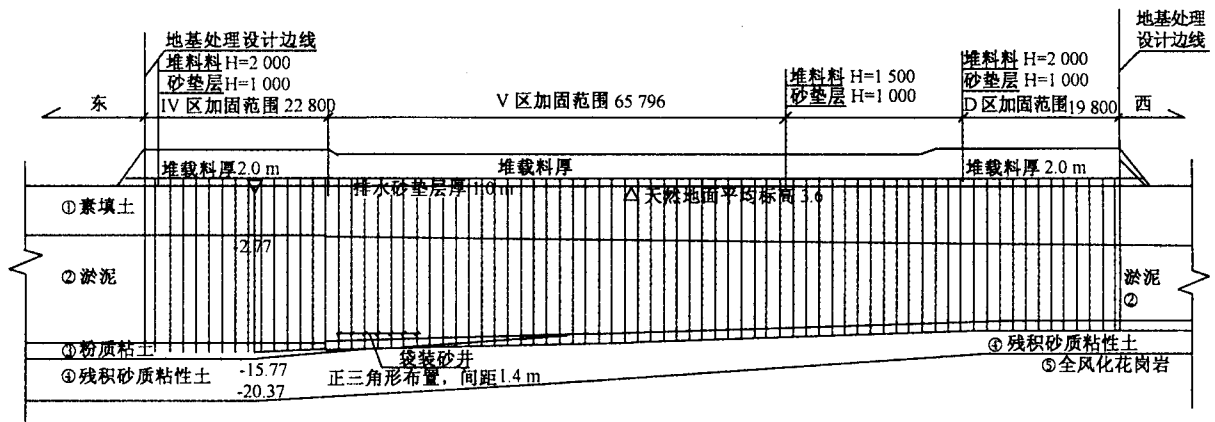


图2 地基处理 1-1 断面图

3.2.2 固结度及固结速率计算

地基平均固结度计算考虑分级堆载,采用修正的高木俊介法进行计算,公式如下:

$$U_{\text{av}} = 1 - (1 - U_z)(1 - U_r)$$

$$U_z = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi}{4} \frac{C_v}{H^2} t\right)$$

$$U_r = 1 - \exp\left(-\frac{8C_r}{F(n)d_c^2} t\right)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$n = \frac{d_c}{d_w}$$

其中, U_z 为竖向平均固结度; U_r 为径向平均固结度; C_v 为垂直固结系数 (cm^2/s); C_r 为水平向固结系数 (cm^2/s); $F(n)$ 为与 n 有关的函数; t 为固结时间 (s); H 为不排水面至排水面的竖向距离 (cm); d_c 为竖向排水体的等效排水圆柱体直径; d_w 为竖向排水体直径。

经固结计算,当堆载预压时间达 120 d 时,固结度一般可以达到 80%,可以将残余沉降控制在允许范围之内。针对各区选择有代表性的钻孔进行沉降计算和固结计算,并将计算结果列于表 1,从表 1 可以看出,经堆载预压固结后,各区残余沉降均可以控制在使用要求范围之内。

表 1 堆载预压区的沉降、固结度以及残余沉降计算结果

处理分区	孔号	孔口标高/m	计算荷载/kPa	总沉降量/m	固结度/%	残余沉降/m
IV区	CK16	3.04	30	0.49	80	0.10
	CK8	3.81	24	0.22	80	0.04
V区	CK14	2.68	37	0.30	80	0.06
	CK17	4.43	24	0.35	80	0.07
VI区	CK30	2.57	39	0.78	80	0.16
	CK33	3.00	31	0.40	80	0.08

3.2.3 水泥土搅拌桩复合地基承载力计算

经水泥土搅拌桩加固后的复合地基承载力估算:

$$f_{\text{spk}} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{\text{sk}}$$

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p$$

其中, f_{spk} 为加固后的复合地基承载力特征值;

m 为搅拌桩的面积置换率; R_a 为单桩竖向承载力特征值; A_p 为桩的截面积; β 为桩间土承载力折减系数,可取 0.75 ~ 0.95; f_{sk} 为桩间土承载力; u_p 为桩身周长; q_{si} 、 q_p 分别为桩侧及桩端阻力特征值; l_i 为桩侧第 i 层土厚度; α 为桩端承载力折减系数。

经上述承载力计算,水泥土桩加固后的复合地基承载力完全能够达到 120 kPa 以上,能够满足使用要求。 (下转第 19 页)

部分运行结果显示如下:

$$x = 1.6000$$

$$2.0000$$

$$67.1750$$

$$fval = 2.6550e + 5$$

由此可以得到结果,此时目标函数值 $fval = 2.6550e + 5 \text{ mm}^3$

最终取值结合《机械设计手册》,并考虑到蜗杆蜗轮的匹配取: $m = 6.3 \text{ mm}$, $Z_1 = 1$, $d_1 = 63$, $i_{12} = 48$, $Z_2 = 48$, $a = 180 \text{ mm}$ 。若用传统经验设计方法得 $m = 5 \text{ mm}$, $Z_1 = 1$, $d_1 = 50$, $i = 50$, $a = 150 \text{ mm}$,此时目标函数值为 $2.966e + 5 \text{ mm}^3$,而采用优化设计目标函数值 $fval = 2.6550e + 5 \text{ mm}^3$,故采用优化设计蜗杆蜗轮材料节省近 10%,减小了体积,降低了成本。

5 结语

通过对数控回转工作台减速装置中蜗轮蜗杆

传动装置采用 MATLAB 语言进行优化设计,在满足传动装置几何结构和性能强度以及承载能力的条件下,建立了优化设计的数学模型,以蜗轮体积最小建立目标函数,利用 MATLAB 优化工具箱进行机械优化设计问题求解,省去大量优化算法程序的编写,提高了实际设计效率。MATLAB 优化工具箱选用较可靠的优化算法,提高了设计精度,不必再对蜗杆蜗轮进行校核,获得了良好的优化结果。此种方法也为机械优化设计提供了新的技术途径,具有一定的经济效益和社会效益。

[参考文献]

- [1] 梁尚明,殷国富. 现代机械优化设计方法[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 王沫然. MATLAB 与科学计算[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [3] 伦冠德. 齿轮传动优化设计的 MATLAB 实现[J]. 现代机械,2006(1):51-52.

责任编辑:唐海燕

(上接第 8 页)

4 监测及检测

在各区采用堆载预压、强夯以及水泥土搅拌桩进行地基处理施工时,为验证土体的处理效果是否达到设计要求,以及确保土体在施工期与使用期的安全稳定性,保证工程质量,施工期间进行了全面的施工监测及检测。通过现场各阶段对沉降和孔隙水压力的监测数据来了解地基沉降变形规律,了解地基土的固结情况,推算地基实际发生固结度并与设计值比较,准确估计沉降量。主要采用的监测手段有:地面沉降观测和孔隙水压力观测、堤身测斜观测和边桩等。主要采用的检测手段有:载荷板试验、静力触探和钻孔取样等。通过各阶段施工监测及检测的数据分析,各分区地基处理的各项指标均能达到设计要求,地基处理效果良好。

5 结语

厦门海沧体育中心地基处理工程已经顺利完

成,由于工程区域内普遍分布厚度较大的淤泥层,且该淤泥层含水量高、压缩性大,同时淤泥层厚度及素填土覆盖层厚度变化大,根据各区位的地质分布实际情况及各区位建筑物对地基沉降及承载力的不同要求,分别采用不同方法进行综合处理,既保证了地基处理的效果,又产生了明显的经济效益,具有一定的推广意义。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局. GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 中华人民共和国建设部. JGJ 79-2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 邓昌大. 地基与基础工程[M]. 北京:高等教育出版社,2005.

责任编辑:张秀兰