

PHC 管桩在基坑工程中的应用的实例

于洪安 王志勇

(山东岩土勘测设计研究院有限公司, 山东烟台 264001)

【摘要】 就 PHC 管桩替代钻孔灌注桩在某基坑中的设计应用进行了分析, 探讨了设计中几个取值问题。

【关键词】 PHC 管桩; 抗裂弯矩; 剪力设计值; 工程应用

【中图分类号】 TU 473.12

【文献标识码】 B

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2013. 06. 001

Application Example of PHC Pipe Piles in Excavation Engineering

Yu Hongan Wang Zhiyong

(Shandong Geotechnical Survey and Design Research Institute, Yantai 264001, Shandong, China)

【Abstract】 The paper analyses application of the PHC pipe piles instead of cast-in-situ bored pile in an excavation, and studies some questions in design procedure.

【Key words】 PHC pipe pile; crack bending capacity; shear capacity; engineering application

0 引言

作为主要用于竖向承载的工程桩, PHC 管桩已广泛应用于建筑、铁路、桥梁、港口码头等工程。PHC 管桩具有桩身混凝土强度高(C80)、桩身耐打、穿透能力强、单桩承载力高、运输吊装轻便、工程造价经济、成桩质量可靠、施工速度快、工期短、现场简洁等优点。

相对于钻孔灌注桩, PHC 管桩采用先张预应力离心成型工艺, 钢材选用预应力混凝土用钢棒, 延性小($\delta \geq 3.5$), 抗弯能力差, 抗剪强度低, 同时受到施工设备、施工条件等的影响, PHC 管桩在基坑支护中很少应用。

在基坑支护工程中, 如果能充分利用 PHC 管桩的优点, 能起到节省工程造价、缩短工期的作用。下面就其在某基坑工程中设计应用的一些问题进行探讨。

1 工程概述

该项目为 7 栋 30~36 层住宅楼, 采用 PHC 管桩+筏板基础。场地大部分为废弃的鱼塘, 施工时回填。地面标高为 -3.15 m, 具 1 层地下车库, 基底标高为 -8.15 m, 开挖深度约 5.0 m, 地下车库总面积约 6 万 m^2 。

场地北侧距已有建筑物 5.0 m。西侧离龙海路 18.0 m, 路侧布设多条管线, 最近的管线离基坑 6.6 m。南侧离海滨路 10.0 m, 东侧离街道 6.0 m, 见图 1。

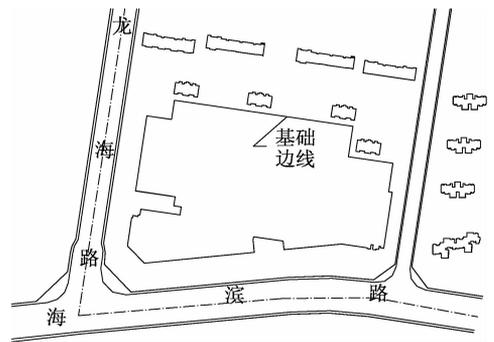


图 1 场区平面布置

2 场地工程地质水文地质条件

场地属于滨海冲积—海积平原, 为第四纪海退之地, 堆积了巨厚的松散沉积物。地下水为第四系松散堆积物中孔隙潜水, 主要补给源为大气降水, 排泄以蒸发方式为主。稳定水位埋深 0.2~1.6 m, 标高 -3.35~-4.75 m。

基坑支护深度影响范围内主要土层如下:

①层填土, 厚 0.9~3.1 m, 主要由粘性土组成, 灰褐—褐色, 软塑。

②层淤泥质粉质粘土, 厚 0.6~5.0 m, 灰色, 软流塑, 砂粘互层, 含贝壳, 夹粉质粘土及淤泥薄层。

③层粉土, 厚 2.4~8.5 m, 灰色, 粉土呈稍密—中密, 饱和。

④层淤泥质粉质粘土,厚 3.8~7.1 m,灰色,软塑—流塑,砂粘互层,含贝壳。属高压压缩性土。

⑤层粉质粘土,厚 1.3~4.7 m,软塑,砂粘互层,含贝壳,属高压压缩性土。各层物理力学及设计参数详见表 1。

表 1 各层物理力学指标及设计参数

土层编号	土层名称	厚度/m	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	直剪快剪	
				c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
①	素填土	2.30	17.5	8.00	10.00
②	淤泥质粉质粘土	2.40	18.6	11.20	5.40
③	粉土	4.30	19.5	12.50	29.30
④	淤泥质粉质粘土	6.00	18.1	10.10	4.20
⑤	粉质粘土	1.70	20.1	16.50	9.10

3 基坑支护设计方案

该基坑开挖深度较浅,但面积大,场地周边环境较简单,但存在软弱淤泥质粉质粘土层,③层粉土相对较好。基坑北侧为住宅楼,采用复合地基,基础底标高为 -6.15 m,拟挖地库基底标高为 -8.15 m,两者高差为 2.0 m,地下车库外墙距离已有住宅楼为 5.0 m。为了减小地下车库开挖对北侧住宅楼的影响,基坑原设计方案为 $\phi 600 \text{ mm} @ 800 \text{ mm}$ 悬臂钻孔灌注桩及桩间旋喷支护。

由于钻孔灌注桩施工工序多(定位→埋设护筒→注入护壁泥浆→桩机就位(钢筋笼制作)→钻孔→排渣→成孔后清孔→吊放钢筋笼→安装砼灌注导管→二次清孔→浇筑砼),施工周期长且质量不易保证,在业主要求工期紧的情况下,必须寻找一种施工快捷、质量可靠,并能确保基坑安全可替代的支护方案。

PHC 管桩是工厂化、标准化生产,桩身质量可靠,机械化施工程度高,操作简单,易控制,施工现场清洁文明,没有灌注桩工地泥浆满地流的脏污情况。经方案对比、经济分析,决定采用主体施工的 PHC 管桩作为支护桩来替代钻孔灌注桩,见图 2。

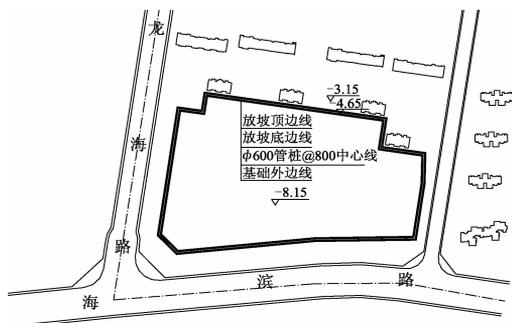


图 2 基坑支护平面图

地下水控制由桩间旋喷改为 $\phi 700 @ 450$ 的双轴搅拌桩帷幕,搭接 250 mm,长 14 m。基坑内采用疏干井排水。

PHC 管桩作为工程桩,有成熟的施工经验和国家标准及地方标准。但是作为承受水平荷载和变形的支护桩却鲜见^[1],国内的基坑设计软件也没有相关的计算,具体工程中如何设计,如何替代,安全性能否够保证,是解决的重点和难点。

采用 PHC 管桩悬臂支护,控制变形是保证基坑安全的首要条件,也是解决 PHC 管桩作为支护桩的一个关键,本文从以下 3 个指标来讨论管桩的性能以求得符合实际的计算模式,便于软件操作。

1)刚度。作为体现结构构件抵抗水平变形的一个重要指标,让替代的 PHC 管桩与原设计的灌注桩具有相同的刚度,因此要求管桩壁厚大,强度高。

2)设计弯矩。为防止 PHC 管桩出现裂缝发生脆性破坏,据《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)^[2](以下简称混凝土规范)规定预应力混凝土受弯构件的正截面受弯承载力设计值应满足: $M_u \leq M_r$ 。

开裂弯矩 M_r :

$$M_r = (\sigma_{ce} + r f_{tk}) W_0, W_0 = 2I_0/D \quad (1)$$

$$I_0 = \pi(r_2^4 - r_1^4)/4 + [(E_s/E_c) - 1] A_p r_p/2 \quad (2)$$

弯矩设计值 M_u :

$$M_u \leq \alpha_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_p + 0.45 f_{py} A_p}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p + 0.45 (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p} \quad (4)$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (5)$$

式中: σ_{ce} 为混凝土的有效预压应力; r 为混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数; f_{tk} 为混凝土轴心抗拉强度标准值; I_0 为换算截面惯性矩; D 为桩截面直径; W_0 为换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩。 r_1 、 r_2 为环形截面的内、外半径; E_c 为混凝土的弹性模量; E_s 为钢筋的弹性模量; r_p 为混凝土受拉(压)疲劳强度修正系数; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值; f_{py} 、 f'_{py} 为预应力筋抗拉、抗压强度设计值; A_p 为受拉区纵向预应力筋的截面面积; σ_{p0} 为纵向预应力筋截面重心处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力; α 为受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值; α_t 为纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截

面面积的比值; α_1 为混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比,对 C60 时取 0.98, C80 取 0.94,其间接线性内插法确定。

文献[3]采用(3)式作为管桩的弯矩设计值,为了具备一定的安全度,本工程采用 PHC 管桩的开裂弯矩作为支护桩的设计弯矩。

3)设计剪力。有两种计算方法^[4],一是将管桩环形截面等效为面积和惯性矩相等的矩形截面,采用混凝土规范^[2]中斜截面抗剪承载力的计算公式:

$$V_u = 0.7f_t b h_0 + 1.0f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0 + 0.5bh_0 \sigma_{pc} \quad (6)$$

$$b = \pi(D^2 - d^2)/2 \sqrt{3(D^2 + d^2)} \quad (7)$$

$$h_0 = \sqrt{3(D^2 + d^2)}/2 \quad (8)$$

式中: b 为等效矩形截面宽度; h_0 为矩形截面的有效高度; D 、 d 分别为管桩外径和内径; f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值; f_{yv} 为横向钢筋的抗拉强度设计值; A_{sv} 为配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积; S 为沿构件长度方向的箍筋间距。

二是根据材料力学构件受弯时任一点受拉主应力,采用《预应力混凝土管桩图集》(10SG409)^[5](简称管桩图集)管桩桩身抗剪承载力的计算公式:

$$V = \frac{tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{ce} + 2 \cdot \phi_t \cdot f_t)^2 - \sigma_{ce}^2} \quad (9)$$

式中: t 为管桩壁厚; I 为混凝土截面相对中心轴的惯性矩, $I = \pi/4(r_0^4 - r^4)$; S_0 为相对中心轴以上半个圆环截面对中心轴的面积矩, $S_0 = 2(r_0^3 - r^3)/3$; σ_{ce} 为混凝土有效预压应力,包括桩端轴压 N 产生的混凝土预压应力; f_t 为混凝土的抗拉强度; ϕ_t 为混凝土抗拉强度变异性调整系数,取 0.7。

通过对同一型号 PHC 管桩采用以上两种方法分别进行计算,结果见表 2。

表 2 桩身受剪承载力计算对比表

外径 D/mm	壁厚 t/mm	预应力钢筋配筋	螺旋筋规格	桩身受剪承载力设计值/kN	
600	110	14 ϕ 10.7	ϕ b5	按公式(6)	按公式(9)
				328.3	304.6

通过计算对比发现,按公式(9)的计算结果比按公式(6)少 8%左右。由于管桩图集^[5]公式仅考虑了混凝土对桩身抗剪承载力的影响,对混凝土的抗拉强度进行了一定的折减,与混凝土规范^[2]中矩形截面的抗剪承载力公式比较发现,管桩图集^[5]缺少了箍筋对桩身抗剪承载力的贡献。

作为安全储备,采用管桩图集^[4]管桩桩身抗剪承载力的计算值作为支护管桩的抗剪强度。

4 设计计算与分析

基坑顶部填土厚度大,上部 1.5 m 采用 1:1 放坡,以减少作用在管桩上的土压力及其悬臂长度,下部采用 $\phi 600@800$ PHC 管桩进行支护,主要围护剖面见图 3。

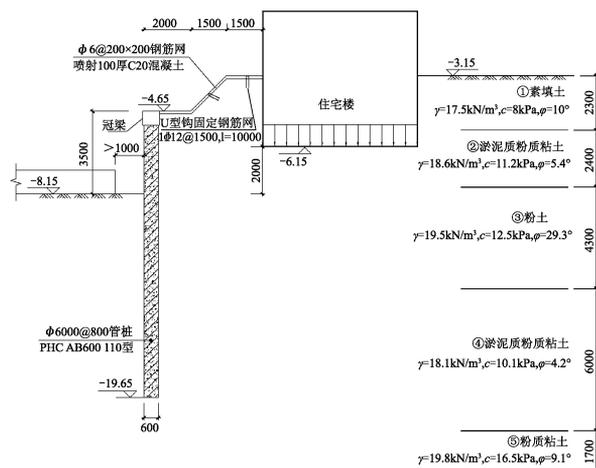


图 3 围护剖面及地质剖面图

基坑围护结构采用同济启明星基坑支护结构专用软件 FRWS7.1 版进行分析,主要计算结果见表 3。

表 3 基坑围护结构计算结果表

计算条件	计算项目	计算结果
	最大正弯矩/(kN·m)	213.3
	最大负弯矩/(kN·m)	-135.0
	最大剪力/kN	171.7
	开挖深度:5 m 预应力管桩: $\phi 600@800$ 嵌固深度: 11.0 m	最大位移/mm
	地面最大沉降/mm	27.0
	整体稳定安全系数	1.48
	坑底抗隆起安全系数	1.40
	墙底抗隆起安全系数	2.13
	抗倾覆安全系数	1.20

内力变形结果见图 4。每根桩抗弯刚度 $EI = 200\ 394\ \text{kN} \cdot \text{m}^2$ 。以下内力和土体抗力的计算结果是每根桩的,支撑反力是每延米的。采用 PHC-600-AB-110-15 管桩,均能满足抗弯抗剪设计要求,主要技术指标见表 4。

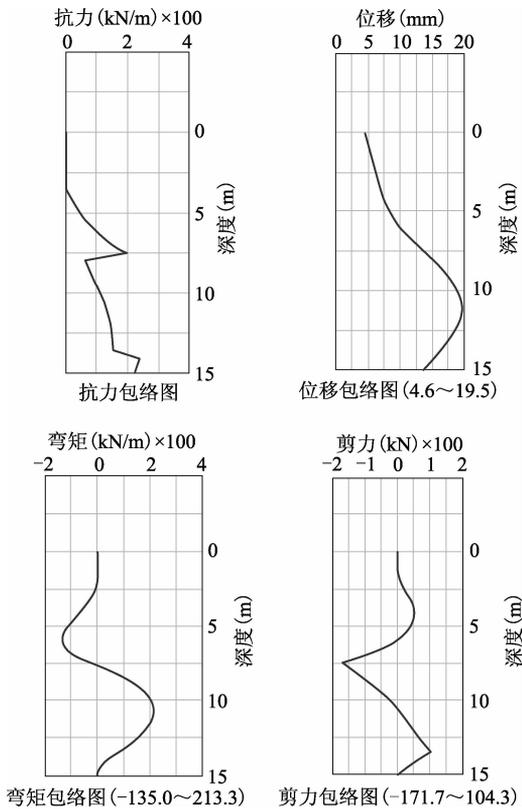


图4 围护结构内力变形图

表4 围护桩(PHC管桩)技术指标表

外径 D/mm	壁厚 t/mm	预应力钢 筋配筋	螺旋 筋规格	抗裂弯矩 /(kN·m)	桩身受剪承载 力设计值/kN
600	110	14φ10.7	φ ^b 5	224	305

5 施工工艺与监测

5.1 施工工艺

工程从2012年6月开始施工,到8月基坑开挖完毕并开始基础底板施工(见图5),大大缩短了工期,达到了预期的效果。



图5 开挖后现场

施工过程中 PHC 管桩主要施工工艺流程:定位→桩机就位(管桩进场)→压桩至设计标高→圈梁施工。

鉴于 PHC 管桩本身强度高脆性大,堆放及施工过程严禁出现裂缝。

施工主要技术要点采用静压法逐桩施工,管桩采用单节桩。预应力管桩的垂直偏差不得大于1/100,桩顶标高允许偏差±50 mm,桩位允许偏差±100 mm。

支护桩与冠梁要有可靠的连接,桩顶设置5 mm 厚圆钢板托板及放入钢筋托架,桩顶 1.2 m 范围填芯混凝土等级 C30,连接方式见图 6。

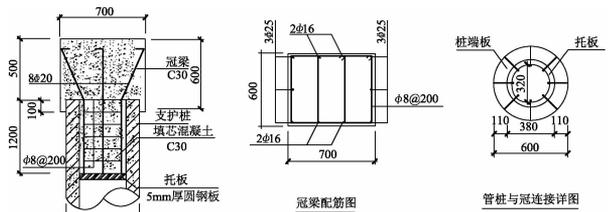


图6 冠梁配筋与管桩连接图

由于基坑范围存在着软土,施工采取挖土均衡分层进行,挖出的土方不得堆置在基坑附近,防止挖土设备撞击支护结构。

5.2 施工监测

为了及时掌握开挖过程中支护结构位移及周边建筑物的变形情况,做到信息化施工,对坡顶及邻近建筑物水平、垂直位移进行了监测。实测桩顶位移沉降曲线见图 7。

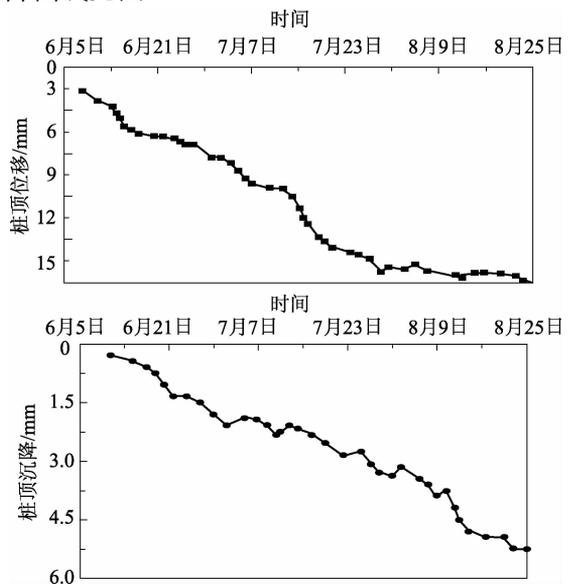


图7 桩顶位移沉降曲线图

通过监测数据分析,桩顶水平位移发生在基坑北段中间部位,桩顶最大水平位移 15.8 mm,桩顶沉降实测值 5.0 mm,桩体未出现裂纹失稳,变形均

(下转第 319 页)

3)在荷载试验时,当抽空开始卸载时,土体产生了一定的回弹变形,虽然对载荷板下的土体进行了预压,但是板周围的土体处于扰动的状态,仍会对结果产生影响。

6 结论

本文采用现场监测成果对无砂垫层真空预压新吹填淤泥土进行了理论分析,并采用弹塑性数值方法模拟了温州某地区新吹填淤泥土的地基承载力特征值,并与现场载荷试验进行了对比。通过上述3种方法的分析比较,结果表明:

1)采用无砂垫层真空预压处理吹填淤泥可以解决目前许多地区中粗砂严重短缺的问题,该方法可以使新吹填淤泥地基承载力明显提高,并缩短工期。

2)静载荷试验确定的地基承载力较室内试验成果略低,这主要是由于新吹填淤泥下普遍存在一层近期滩涂围垦过程中沉积下来的滩涂浮泥,该层滩涂浮泥形成时间短,含水量高,属于欠固结土。其次,土体受卸荷扰动影响,地基承载力现场实测值偏小。

3)从工程区块的加载到最后的破坏形式看,吹填土体破坏时,承压板的两侧地面没有隆起,承压板刺入试验位置的土中,其荷载-沉降关系曲线也是缓变形的,不出现明显的转折,其破坏模式表现为竖向冲切和浅层滑动复合式破坏。

4)本文数值模拟成果与现场载荷板试验实测值

吻合较好,可为浅层新吹填淤泥软基处理分析和设计提供参考依据。

参 考 文 献

- [1] 方子杰,应 舒. 低位真空预压法吹填土软基加固技术的应用[J]. 港工技术,2011(12):41-43.
- [2] 叶柏荣,张 敬,张 欣. 超软地基加固技术[J]. 港工技术,1986(5):1-7.
- [3] 应 舒,高长胜,黄家青. 新吹填淤泥地基浅层处理试验研究[J]. 岩土工程学报,2010(12):1956-1960.
- [4] 关云飞,唐彤芝,陈海军,等. 超软地基真空预压浅层加固现场试验研究[J]. 岩土工程学报,2011,33(增1):97-101.
- [5] 仓基俊,关云飞,李小梅. 吹填软基无砂垫层真空预压快速加固新技术及现场试验研究[J]. 水电能源科学,2012,30(2):92-94.
- [6] 彭 劼,苏 波,董江平,等. 双层虑管无砂垫层真空预压法处理超软海底吹填淤泥[J]. 河海大学学报(自然科学版),2011,39(6):676-681.
- [7] 陈允进,宋 晶,夏玉斌. 等. 真空预压法加固吹填土的孔隙水压力试验研究[J]. 工程地质学报,2010,18(5):703-708.
- [8] JTJ240-1997 港口工程地质勘察规范[S].
- [9] GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S].

收稿日期:2013-06-18

(上接第274页)

比计算结果小。在挖土及整个基础施工过程中未发生建筑物开裂不均匀沉降,证明采用该方法进行设计支护质量可以保证。

6 结论与建议

1)在一定的条件下,采用PHC管桩替代灌注桩作为支护结构桩,是安全可行的。

2)尽量采用大直径,大壁厚、配筋率高的PHC管桩,以增加支护刚度和抗弯性能。

3)施工过程中,PHC管桩间距较小,若发生挤土效应,沉桩困难,可采用预引孔工艺

4)在基坑工程中充分利用管桩的优点可减少工序,大大缩短工期,取得明显的经济效益。

5)PHC管桩在基坑支护应用中应严格控制坡顶堆载。

参 考 文 献

- [1] 徐醒华,等. 预应力管桩在超深基坑支护工程中的应用[J]. 广东土木与建筑,2004(4):8-10.
- [2] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 黄广龙,等. 预应力砼管桩在深基坑支护工程中的应用研究[J]. 建筑施工,2005(4):12-14.
- [4] 吴江斌,等. PHC管桩桩身抗剪承载力试验与计算方法研究[J]. 建筑结构,2012(5):164-167.
- [5] 10SG409 预应力混凝土管桩图集[S]. 北京:中国建筑标准设计研究院,2010.

收稿日期:2013-09-22