

超短静压 PHC 管桩工程的设计与施工实践

彭家驹¹, 张学慧², 徐佩林³

(1. 浙江水利水电专科学校, 浙江 杭州 310018; 2. 温州市建筑营造工程有限公司, 浙江 温州 325014; 3. 温州中城建设集团有限公司, 浙江 温州 325005)

摘要:针对丽景花苑较为独特的场地地层和人文地质情况,对其基桩工程可供选择的设计方案及其施工中可能出现的利弊作了较为详尽的分析论述,为合理选择经济安全的设计方案和顺利施工提供参考。

关键词:基桩工程;预应力静压管桩;桩底注浆补强

中图分类号:TU473.1⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)11-0025-03

1 工程概况

丽景花苑位于温州乐清市白石镇柳白大道 88 号,工程由 7 幢小高层商品住宅楼组成,其中 2 幢楼 10F+1 层,5 幢楼为 11F+1 层,建筑用地面积 12928 m²,建筑占地面积 3423.1 m²,总建筑面积 34168 m²。其中 8 号楼设 1 层地下室,基坑开挖深度约 3.00 m,地下室建筑面积 2352 m²。工程采用框剪现浇钢筋混凝土结构,设计最大单桩荷载为 3000 kN,基础采用预应力钢筋混凝土管桩,静压成桩。本工程由杭州华景房产开发有限公司乐清分公司开发建设,煤炭工业部杭州建筑设计院设计,温州中城建设集团有限公司承建。

2 场地地质条件

根据浙江省有色建筑工程有限公司详勘提供的《丽景花苑岩土工程勘察报告》,查明场地地下埋深 32.9 m 范围内的地基土按成因类型和物理力学性质特征,可划分为 5 大工程地质层,自上而下分为:

①₁ 素填土,黄褐色,松散状,主要由小块石、碎石和粉质粘土组成,厚度 0.30 m 左右,为耕植土,全场分布,层厚 0.50~0.80 m;

①₂ 粘土,灰黄色,软~可塑状,饱和,中压缩性,局部为粉质粘土,全场分布,层厚 0.60~1.40 m,天然含水量 34.0%,粘聚力 $c=33.4$ kPa,内摩擦角 $\varphi=13.6^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=90$ kPa;

②₁ 淤泥,灰色,流塑状,饱和,高压缩性,含贝壳粉屑,全场分布,层厚 1.40~7.30 m,天然含水量

62.8%,粘聚力 $c=17.4$ kPa,内摩擦角 $\varphi=8.1^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=45$ kPa;

②₂ 淤泥质粘土,灰色,流塑状,饱和,高压缩性,含贝壳粉屑,干强度和韧性高,呈带状分布于场地中部,层厚 0.90~4.90 m,天然含水量 49.2%,粘聚力 $c=21.8$ kPa,内摩擦角 $\varphi=10.9^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=60$ kPa;

②₃ 粘土,灰色,软塑状,饱和,高压缩性,干强度和韧性高,含少量贝壳粉屑,层厚 0.80~6.90 m,天然含水量 44.3%,粘聚力 $c=27.4$ kPa,内摩擦角 $\varphi=12.6^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=70$ kPa;

③ 圆砾,棕灰色,稍~中密状,主要由砾石、砂及细砂颗粒组成,砾径一般 0.3~5.0 cm,最大可达 12 cm,砾石分布不均,砾径 > 2 cm 者约占 61%,砂粒含量约 17%,粉细砂约占 22%,砾石多呈亚圆状,其母岩为火山碎屑岩,层底 1.0 m 左右呈黄色,砾石含量较少,全场分布,层厚 6.30~10.00 m,粘聚力 $c=4.0$ kPa,内摩擦角 $\varphi=22^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=300$ kPa;

④₁ 粉质粘土,灰色,流塑状,饱和,高压缩性,干强度高,韧性中等,含少量细砂,层厚 1.00~7.70 m,天然含水量 41.1%,粘聚力 $c=30.1$ kPa,内摩擦角 $\varphi=13.3^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=80$ kPa;

④₂ 粘土,灰色,软塑状,饱和,高压缩性,干强度和韧性高,含少量泥炭,全场分布,层厚 2.30~9.90 m,天然含水量 44.9%,粘聚力 $c=28.1$ kPa,内摩擦角 $\varphi=12.8^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=70$ kPa;

收稿日期:2006-05-26

作者简介:彭家驹(1947-),男(汉族),江西吉安人,浙江水利水电专科学校客座教授,国家注册土木(岩土)工程师,地质专业,从事岩土工程工作,浙江省杭州市下沙经济技术开发区学林街 583 号,(0571)81612421、13858197832, pengjj@mail.zjwchc.com;张学慧(1966-),女(汉族),浙江温州人,温州市建筑营造工程有限公司总经理、工程师,建筑专业,从事经营运作及管理工作,浙江省温州市瓯江大厦 18 楼;徐佩林(1944-),男(汉族),浙江义乌人,温州中城建设集团有限公司副总工程师、高级工程师,古生物专业,从事施工技术管理工作,浙江省温州市将军桥长城大厦二楼,(0577)88532871。

⑤圆砾,棕灰色,稍~中密状,主要由砾石、砂粒及细砂颗粒组成,砾径一般0.3~5.0 cm,最大可达11 cm,砾径>2 cm者约占63%,砂粒含量约占17%,粉细砂约占20%,砾石多呈亚圆状,母岩为火山碎屑岩,砾石分布不均,局部有粉质粘土,全场分布,最大控制厚度8.20 m,未见底,粘聚力 $c=5.0$ kPa,内摩擦角 $\varphi=20.0^\circ$,地基土承载力特征值 $f_{ak}=350$ kPa。

上述地质情况表明:①₂虽俗称“硬壳层”,但因其厚度太薄无法作为基础持力层;②层和④层为软塑土,高压缩性,性能差,不宜作为基础持力层;③和⑤两层圆砾工程性能较好,力学强度较高,厚度也较大,可以作为本工程的基础持力层。

3 水文地质条件

工程勘察查明,本场地地下水主要有2种赋存状态。其一为埋藏较浅的地下潜水层,属上层滞水,其地下水位在地表以下1.18~1.95 m之间,水位随季节变化幅度不大,主要受大气降水和地表水下渗补给。另一种为③、⑤圆砾层内的蕴涵承压水,渗透性较好。勘察施工情况表明,部分勘察孔在该层位出现严重失水、漏浆现象。而多数勘察孔则钻到该层位时又发生孔口大流量涌水,其中上涌水柱高的达3.0 m左右。这种互相绝然相悖的情况表明承压含水层内的富水性及赋存状态有着很大差别。分析产生这种差异的原因可能在于圆砾层内发育有大小、长短、形态及厚度不一的粘土质隔水层,由于这种隔水层的存在使圆砾层内有的部位富含承压水,如遇释放其喷涌水头可达数米,而有的地段或部位则缺水漏浆。这两种情况都将给桩基工程的施工带来不利影响。

鉴于本场地局部地段圆砾层有缺水漏浆现象,为慎重起见,笔者还实地对柳市—乐清沿线进行了地质调查,发现温州—乐清—三门断裂带正是在此一带状谷地通过,在地貌上表现为带状冲沟;在构造变形上,表现为褶皱发育、岩石破碎、产状凌乱,断续发育的北东向小山包,实际上是一些压扭性断裂的构造透镜体。

因此,可以断定,本场地的基岩岩体不完整、不均一,是一种不良地质现象,从而导致基岩上覆的圆砾层产生储水与漏水的差异性。

4 施工环境条件

工程拟建场地原系农田。拟建建筑物东侧距离

柳白大道7~10 m,北面距离怀和路及民居约17 m,东北角与一幢独立民居距离仅7 m,南面与西面均为农田。

本工程桩基施工及其基坑开挖对北面和东北角的道路及民居均可能产生开裂、位移及沉降等不良影响。造成这种不良影响的直接原因既可能是预应力混凝土管桩施工引起的挤土效应,也可能是基坑开挖诱发的周围土体较大位移,或是基坑围护结构变形导致周围土体沉降。有可能酿成施工纠纷。

5 桩基方案的选择

本工程基础设计采用单桩单柱,单桩竖向荷载3000 kN。根据勘察报告探明的场地土层的情况,在采用桩基方案上作了多方面的筛选。

5.1 锤击预制钢筋混凝土桩

本工程楼层10F+1和11F+1,通常情况下利用埋深仅5.70~8.80 m的③圆砾层做为桩基持力层,承载力能满足设计要求,有效桩长也不大,经济上比较合算,是一个不错的选择。但锤击噪声扰民和挤土效应很可能引起邻近居民纠纷,故不宜采用此方案。

5.2 人工挖孔桩

以③圆砾层作为桩端持力层,其顶面埋深较浅,桩长在8~9 m之间,采用人工挖孔桩施工方便,桩的质量有保证,但人工下孔开挖作业需要加大桩径,因而提高桩基费用。同时考虑到③圆砾层为地下承压水储水层,水体承压较大,如人工挖孔作业时贯通承压水储水层,不仅孔内排水疏干难度大,而且极易引发人身伤亡事故。因而不宜采用此施工方案。

5.3 钻孔灌注桩

采用大口径钻孔灌注桩施工方案,一般以⑤圆砾层作为桩端持力层,这样就得穿过③圆砾层,由于该层砾石厚度6.30~10.00 m,施工难度增大。如果利用③圆砾层作为持力层,桩的有效柱长缩短,经济上也合算。但无论选用哪层圆砾层作持力层,钻进成孔自制泥浆质量均无法满足施工工艺要求,不仅成孔、清孔困难,且软弱土层又易发生缩径,砾石层易引发的塌孔、漏浆或突发涌水等情况都要求必须外加泥浆制作材料,以提高泥浆质量。这样不但大大提高桩基施工成本,而且由于增大的泥浆稠度而增加桩周的泥皮厚度,加上有效桩长较短而影响桩的承载力;再则由于泥皮厚造成稠泥浆在钢筋上附着粘接而影响钢筋与混凝土的握裹力而影响成桩质量;另外还由于增加泥浆密度和稠度后,加上有效

桩长较短、首灌混凝土量小,冲击力低,对桩底沉渣冲击浮托力也小,同时混凝土在孔内的向上顶升能力与侧向挤扩能力均小,影响桩顶混凝土的密实性。故对整个桩的混凝土灌注不利,从而影响成桩质量,因此未采用此施工方案。

5.4 预应力静压管桩

施工方便,快捷,没有施工场地污染,成桩质量较有保障。只要采取必要的防挤土措施,避免扰民,就能取得预期的效果。因此,经建设单位推荐并经专家咨询,决定采用该施工方案。采用 PC-AB50091000-10 型先张法预应力混凝土管桩,有效桩长 8 m,桩身强度 C60,桩端进入持力层③圆砾层 2.5 m,静压成桩。终止压桩条件以有效桩长和压桩压力双控确定。

6 施工结果及其原因分析

在采取防挤措施的情况下进行预应力管桩的静压施工,其结果没有取得预期效果。特别是有一层地下室的 8 号楼的施工结果与原设计要求相差甚远。8 号楼地下室开挖深度约为 3 m,桩端进入③圆砾层持力层 2.5 m,有效桩长为 8 m,施工设计终止压桩压力达到设计单桩承载力标准值控制。但实际施工有效桩长 5 m 以上的桩仅 36 根,占该楼总设计桩数 283 根的 15%,有效桩长 4 m 以上的桩 126 根,占总桩数的 51%,有效桩长 4 m 以下的桩则达 121 根,占总桩数的 49% (其中有效桩长 3 m 以下的桩有 48 根)。这些桩都是在静压钻机最大配重(3000 kN)下压不下去时不得不终止压桩的。这样的施工结果虽然经浙江省有色地球物理技术应用研究院工程监测中心进行单桩竖向抗压静载测试,其承载力均可满足设计要求。在其他楼的试桩施工中,有原设计有效桩长 12 m,实际压桩 24 m 尚未达到设计终止压桩压力的情况。由于③圆砾层持力层顶面埋深 5.70~8.80 m,设计有效桩长有 12 m 和 8 m 两种,而实际施工结果其有效桩长与设计有效桩长之差竟达 3.60~5.00 m 之多,原设计之摩擦端承桩则几乎全变成端承短桩,而且有效桩长小于 4 m 的桩就占了近一半,这种施工结果是原先未曾预料到的。

实际测量桩的承载力与地勘报告提供的③圆砾层桩端承载力特征值 2.4~3.2 MPa 不符;由于桩的有效桩长过短,桩侧土对桩的嵌固作用不足,难以有效发挥桩的锚固、承压与抗拔等应有作用。从工程施工情况分析原设计有效桩长为 12 m 的桩,有的试桩实际压桩长度达到 24 m,而绝大多数桩的有效桩

长均未达到设计要求,与原设计长度的有效桩长相差 37%~55%。分析造成这种结果的原因,一是决定持力层物理力学性质的圆砾含量与砾径颗粒大小不均,当桩端位于含砾量少、砾径又小的部位时,桩端持力层物理力学性质相对较弱,压入的桩长可远远大于设计有效桩长,而当桩端位于含砾量高、密实性较高、而且砾径又较大的部位时,压桩施工就困难,压入的桩长比设计有效桩长相对明显不足。究其原因在于地勘作业中实际采集的圆砾层心样的物理状态与其在地层中的自然状态、物理力学性质发生了很大的改变,因而使地勘报告提供的测试参数失真。分析本工程实际成桩的端承短桩的受力状态,其桩端承载力是由位于桩端的卵砾石及其间隙充填的砂的密实程度共同作用提供的,由于以圆砾层为持力层的超短桩嵌固能力低,还可能由于地下潜水水位的上升而诱发地下室“漂移”,致使整个基础发生不均匀的抬升引起建筑偏移。为此,对本工程的上述质量隐患须采取可靠有效的措施予以补强加固。

7 补强方案

为保证桩基工程质量,主要针对有地下室的 8 号楼进行补强。

7.1 桩端压浆补强

对有效桩长 <6 m 的桩进行桩底注浆处理,使桩端及桩周土体与水泥浆共同作用得到加固,提高单桩的嵌固能力及桩侧壁摩擦阻力,从而提高单桩承载力。桩底注浆要求注浆管从管桩内插入并伸出桩底不小于 10 cm,每根管桩内下入一根注浆管,由于下注浆管比较困难而采用电震锤边震边下,在注浆管下到位后管桩内用 10 cm 左右的混凝土封堵,防止灌浆时浆液从桩内溢出地表。注浆水泥选用 42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比为水泥:水:早强剂 = 1: 0.5: 0.035,注浆压力 0.2~0.6 MPa,单桩注浆用水泥 1~1.5 t,终止注浆条件为单桩设计注浆水泥用量或出现地表较大返浆。对地下室抗拔桩,在桩底注浆加固的同时,增加桩间加密注浆点。注浆深度统一要求控制在 6.0~6.5 m,提高持力层的力学性能。

7.2 基础地板增设下翻梁

同时外墙承台间下翻 600 mm 地梁,以增强工程底板的刚性强度,同时提高建筑基础抗浮能力。

(下转第 31 页)

(5) 钻孔终孔后,应及时清除孔底沉渣、安放钢管和灌浆导管及预埋管,灌注桩身混凝土。

(6) 在灌注水下混凝土过程中,应保持灌注的连续性,避免因灌注不连续造成桩身混凝土断桩等质量事故。

(7) 预埋管必须密封完好,否则无法完成注浆和二次注浆。

(8) 灌注纯水泥浆应掌握桩身混凝土的初凝、终凝时间,灌注纯水泥浆的最好时机应在混凝土初凝之后、终凝前进行;二次注浆应在桩身混凝土终凝后进行。终灌标准:灌浆压力 ≥ 5.0 MPa或浆量控制以地层吸浆量 ≤ 1 L/min,并保持10 min,达到以上条件之一者终灌。

(9) 在进行下一道工序施工前,应将封底混凝土面上的钻屑或废水泥清除干净。

6 工程质量检测

工程施工完工后,由建设单位委托第三方采用钻心法对桩身混凝土完整性进行检测。检测结果表

(上接第22页)

4 结语

深层水泥搅拌桩是软基处理中采用较多的一种方法,与桩基础等方法相比具有造价低、施工方便等优点,但在进行设计和施工时必须充分了解工程地质条件,以保证达到可靠的加固效果。

本工程场地属于岩溶地区,通过对场地内的土(溶)洞的详细勘探,确定了土(溶)洞的位置及发育状况,并对土(溶)洞进行了处理后解决了地基承载力不足的问题,使复合地基承载力能够达到设计要求,满足工程需要。溶洞内往往有地下水流动,或有

(上接第27页)

8 结语

(1) 基桩经过压浆补强处理,单桩承载力有了明显提高,补强后的静压测试结果表明,单桩承载力由原来的3000 kN左右提高到3500~3800 kN,提高了16%~27%。同时也增强了桩基的嵌固力,连同基坑底板承台间下翻地梁,提高了工程整体结构的刚性和稳定性,消除了地下室抗浮不足的隐忧。补强后经水泥浆液渗透胶结的桩端圆砾持力层又在一定程度上隔离了地下承压含水层,成为地下室

明;桩身混凝土完整,无蜂窝、离析现象,施工质量满足设计及有关规范要求。检测完后,由检测单位采用同一强度等级的细石混凝土回灌。

7 施工体会

(1) 钢管桩施工设备简单,操作方便,施工工期短,工程造价低,与钻(冲)孔灌注桩相比,工程成本节约1/3左右;

(2) 采用钢管桩施工穿过溶洞或溶槽等复杂地层,可以把建筑物上部荷载传递到承载力高、完整性好的基岩上,可缩短人工挖孔桩的桩长;

(3) 采用纯水泥浆对钢管桩外环状间隙进行填充和二次注浆,有利于提高钢管桩整体性和桩周极限侧阻力,从而提高钢管桩的承载力;

(4) 采用钢管桩穿过溶洞或溶槽等不良地质条件的地层,对软弱地基进行处理,给类似工程提供了新的思路;

(5) 本工程采用敞口式钢管桩,承载力稍低,若采用闭口式钢管桩,其承载力会得到提高。

黄褐色流动性粘土,可将水泥浆带走或被稀释,故在地基处理方案和现场施工中应特别注意。本工程通过对溶岩地区的局部土(溶)洞处理,给类似地质条件地区的地基处理方案起借鉴作用。

参考文献:

- [1] 叶书麟.地基处理与托换技术(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [3] 顾晓鲁.地基与基础(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 李慧莹.土(溶)洞地区施工地基处理[J].建筑技术开发,2002,(8).

工程坑底的一道止水帷幕,为地下室工程的施工创造了较为有利的水文地质施工环境,在整个地下室施工过程中,基坑坑底疏干排水顺畅,坑内渗水较少。

(2) 岩土勘察工作对于工程建设的投资、质量、进度、安全至关重要。要提高取样分析的准确性,更要重视综合分析、综合研究的能力。在对某一工程进行勘察时,还要观察与调研周边的地貌、地层、构造、岩相古地理等相关信息,进行认真分析与论证,才能为设计部门提供有价值的依据。