

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2016.06.004

某建筑 CFG 桩复合地基沉降机理分析与加固处理

高子平

(福建工大建设工程检测有限公司, 福建 福州 350118)

摘要: 分析了福州市某建筑吹填土 CFG 桩复合地基沉降机理,通过方案比选,提出采用钢管混凝土桩加固建筑物基础的处理方案;详细介绍了钢管混凝土桩数量及布置、桩身构造设计、施工流程及工艺要求等;监测结果表明,采用钢管混凝土桩进行基础加固,对控制建筑物沉降效果显著。

关键词: CFG 桩复合地基; 沉降机理; 加固处理; 钢管混凝土桩

中图分类号: U470 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2016)06-0532-06

Settlement mechanical analysis of CFG piles compound foundation and foundation reinforcement

Gao Ziping

(Construction Engineering Detection Co., Ltd., Fujian Industrial College, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The settlement mechanics of CFG piles compound foundation of certain building in Fuzhou was analysed, and a foundation reinforcement scheme of concrete-filled steel tube piles was presented by comparison. The number and arrangement of concrete-filled steel tube piles, structure design of piles, construction process and technical requirements were introduced. The results of detection and monitoring show that the foundation reinforcement scheme of concrete-filled steel tube piles is effective in controlling the settlement of the building.

Keywords: CFG piles compound foundation; settlement mechanics; foundation reinforcement; concrete-filled steel tube pile

1 工程概况

拟处理工程为福州市某服务大楼,主体为地下 1 层、地上 4 层现浇钢筋混凝土框架结构,建筑高度为 20.85 m,总占地面积约 2 733 m²。

建筑物场地原始地貌为海滩冲淤积,表层为 6.46~7.45 m 厚新近吹填砂,堆填时间小于 1 a,下卧 11.1~15.7 m 厚淤泥质土,采用 1 000 mm 厚筏板基础,筏板下设置 200 mm 厚 C20(内加防腐剂)混凝土垫层。软基处理采用桩径 500 mm、呈正三角形布置 CFG 桩,建筑物地基范围内桩距 1.6 m,桩端持力层为粘土;设计单桩承载力特征

值 350 kN,复合地基承载力 180 kPa,如图 1 所示。建筑物周边桩距 1.8 m。场地先排水后铺填 500 mm 厚碎石垫层作褥垫层,垫层上下各铺设一层双向玻纤格栅。

该工程于 2013 年 8 月完成 CFG 桩施工,建筑物主体于 2013 年 10 月封顶,2014 年 4 月完成主体装饰、水电等工程,建筑物周边通道、场地均已回填到设计标高。建筑物封顶前沉降量速率约为 1.0~2.6 mm/d,且随着建筑荷载的增大而增大,封顶阶段增大到约 1.1~2.8 mm/d,封顶后下降到约 1.1~1.5 mm/d,但未见收敛迹象,建筑物局部累计沉降量达到 280 mm 以上。若持续沉降,

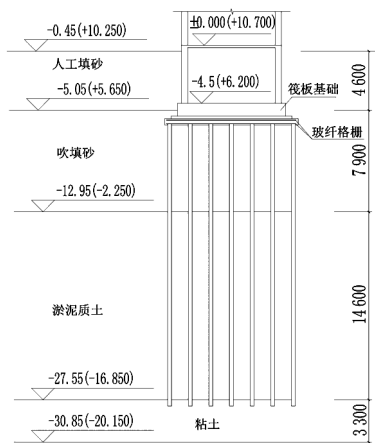


图 1 CFG 桩复合地基示意图(单位:mm)

Fig.1 Schematic diagram of CFG piles compound foundation(unit :mm)

将影响建筑物的正常使用,而且将与该建筑物对称的另一栋建筑物(采用桩基础、沉降量小)形成高差,影响美观。为控制沉降,避免上述情况发生,需要对该建筑物基础进行加固处理。

2 复合地基沉降机理分析

根据土力学固结沉降理论^[1],计算出建筑物荷载作用下,吹填砂土和淤泥质土的固结沉降速率约 0.5~1.5 mm/d,与该建筑物的沉降速率 1.1~1.5 mm/d 比较接近,可判定该建筑物地基沉降与淤泥、吹填砂层的固结沉降有很大相关性。

根据勘察设计资料,对上部荷载全部作用在 CFG 复合地基上时,CFG 单桩和 CFG 群桩基础承载力进行验算。计算出群桩桩端对持力层的荷载为 250.1 kPa,而持力层经深度修正后的地基承载力特征值为 320.8 kPa,CFG 群桩承载力满足工程要求。计算出基桩承担的上部荷载约 221 kN,由于淤泥固结产生下拉荷载约 209 kN,桩身自重 114.0 kN,总和为 544 kN,而 CFG 单桩设计承载力仅为 350 kPa,CFG 基桩承载力不能满足工程要求,地基发生刺入变形。

在 CFG 桩复合地基中,上部结构传来的荷载由 CFG 桩体、桩周土和褥垫层共同承担。褥垫层将上部基础传来的基底压力或水平力通过适当的变形以一定的比例分配给 CFG 桩及桩周土体,使二者共同受力^[2]。由于本工程淤泥深厚,淤泥层顶面吹填砂层达到 5.0 m 以上。在吹填砂层和建筑物附加应力作用下,淤泥和吹填砂层产生固结

沉降,沉降量超过了褥垫层可调节的幅度,上部荷载基本转移到桩顶,CFG 桩跟桩间土无法共同工作,桩开始承担了上部建筑的全部荷载。在上部建筑荷载、负摩阻力产生的下拉荷载及桩身自重作用下,基桩无法支承上述全部荷载,桩刺入桩端土中产生刺入变形造成沉降。当沉降一定量后,桩间土又开始工作,形成新的平衡。随着淤泥和吹填砂继续固结沉降,又形成新的刺入变形;如此交替变化,便产生缓慢的持续沉降。

3 基础加固处理方案

3.1 设计方案比选

上述地基沉降机理分析表明,建筑筏板基础以下土体固结沉降较大且仍有持续下沉趋势,CFG 桩及桩间土体无法形成复合地基共同作用;根据 CFG 桩身完整性低应变动力测试、单桩承载力静载试验及复合地基承载力验收情况综合分析,CFG 桩身质量完整性良好,但不满足承载力要求。因此本工程拟增加工程桩基、分担 CFG 桩承受的荷载,以阻止建筑物继续下沉。

由于是补强工程,本工程按补强桩的极限承载力支承上部结构荷载的计算原则确定补桩数量和承载力;由于桩基补强后,建筑物将停止下沉,但底板下的淤泥质土仍将继续下沉,故还需考虑补桩材料抗压强度能承担上部全部荷载。根据上述两点提出以下 3 个加固方案^[3-7]:

方案一:钢管混凝土桩

在 CFG 桩周布置间距为 2 m 的钢管混凝土桩,钢管外径取 300 mm,壁厚 14 mm,桩长约 27 m,采用锚杆桩方法压入;上部建筑荷载 198 042.8 kN,钢管混凝土桩单桩竖向承载力特征值 816 kN,考虑下拉荷载后的单桩竖向承载力为 722 kN,则所需桩的数量为 138 根;桩身强度标准值 1 396 kN,按桩身强度控制,则所需约 142 根桩。

方案二:预制方桩

在 CFG 桩周布置间距为 2 m 的预制方桩,桩身截面尺寸取 250 mm×250 mm,桩身强度为 C40,采用锚杆桩方法压入;预制方桩单桩竖向承载力特征值 866 kN,考虑下拉荷载后的单桩竖向承载力为 772 kN,则所需桩的数量为 129 根;桩身强度标准值 884 kN,按桩身强度控制,则所需约 224 根桩。

方案三:旋喷桩

在建筑物筏板下(避开 CFG 桩)布置旋喷桩,旋喷桩桩径 600 mm,桩距 1.6 m,呈正三角形分布;以黏土层为持力层,桩端进入持力层深度为 3 m,旋喷桩单桩竖向承载力特征值 432 kN,大于桩身强度标准值 212 kN,则按桩身强度控制,需要约 468 根桩。

3 个方案技术对比如表 1,综合考虑施工难易程度、工程造价、施工进度等因素,选择方案一为本工程的加固方案。

3.2 钢管混凝土桩构造设计

由于受地下室内消防水池等已有结构的影响,钢管混凝土加强桩布置采用室内和室外相结合的原则,大部分布置在室内,局部无法布桩区域布

表 1 基础加固处理方案对比

Tab.1 Comparison of foundation reinforcement among 3 schemes

方案	处理效果	处理速度	施工质量控制	对环境的保护	成本
1	优	较快	好	好	较高
2	优	快	较好	好	高
3	一般	慢	差	较好	较高

置在室外,钢管桩身 Φ300 mm,壁厚 14 mm,单桩竖向抗压承载力极限值取 1 420 kN,桩基平面图见图 2。

钢管采用 Q345,桩内侧注 C40 混凝土,钢管

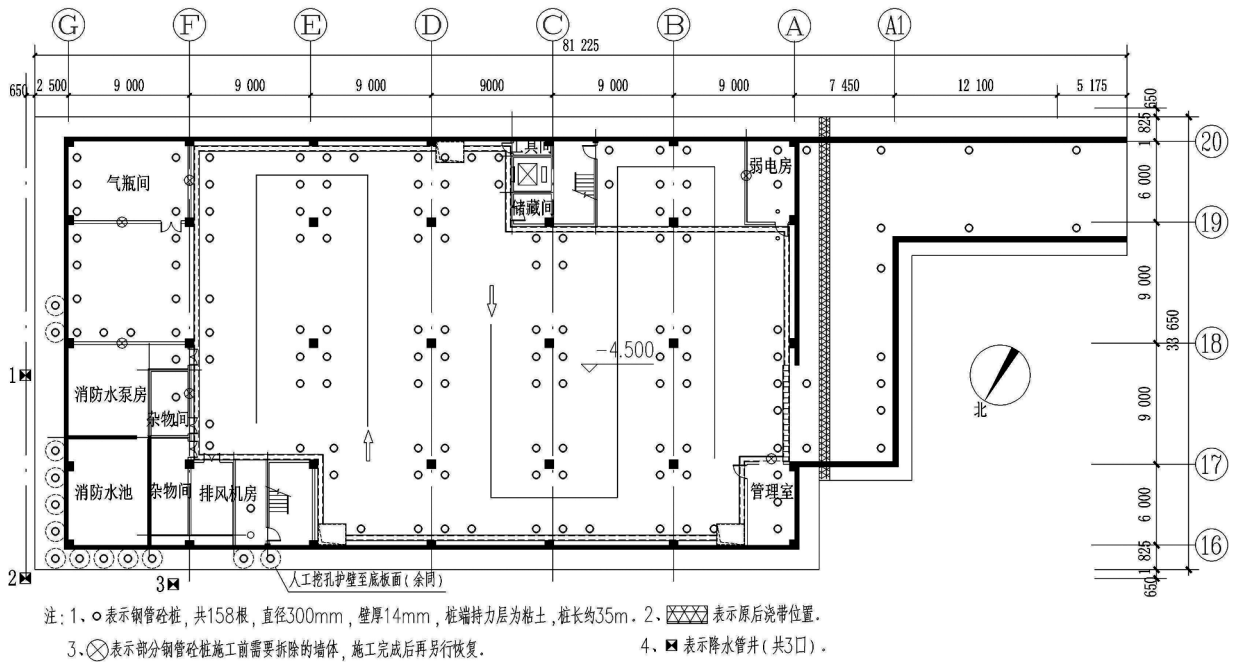


图 2 钢管混凝土桩加固平面布置图(单位:mm)

Fig.2 Layout of foundation reinforcement of concrete-filled steel tube piles(unit:mm)

内插筋采用 5 根Ⅲ级 Φ22 mm 的钢筋,钢筋伸入筏板内 35d,伸入钢管内 9 m。为避免桩头在压桩过程中发生变形或开裂导致管内进水进泥,应对桩头进行加强。桩段采用焊接,上下节桩在同一垂直轴线上,焊接质量应符合相关规范要求^[6],桩身结构构造大样图见图 3。

4 基础加固施工技术

4.1 重点与难点分析及对策

1) 针对基础加固采用的桩基础数量较多,施

工中应确保建筑物基础的受力均匀,合理安排加固桩基础的施工顺序,如图 2 中箭头所示。

2) 钢管混凝土桩静压施工中,由于筏板基础厚度较大(厚 1 000 mm),经现场多次试钻证实,在地下室筏板基础一次性开设压桩孔(Φ412 mm)具有很大的难度。本工程采用如图 4 所示 Φ180 mm 的钻头分 7 次取芯成孔。

3) 吹填砂厚度 6.46~7.45 m,锚杆静压法施工难度较大。若钢管桩压桩施工遇填砂层压不下去时,则采用引孔方法:填砂层(含褥垫层)以钻

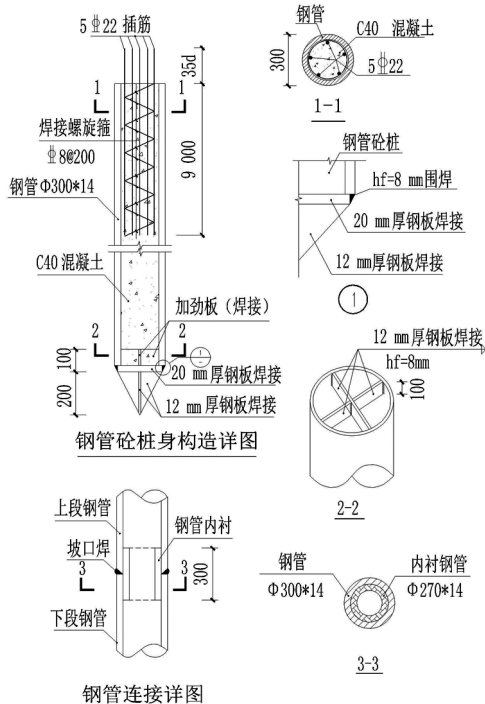


图 3 钢管混凝土桩桩身构造大样图(单位:mm)

Fig.3 Construction major (details) of concrete-filled steel tube piles(unit:mm)

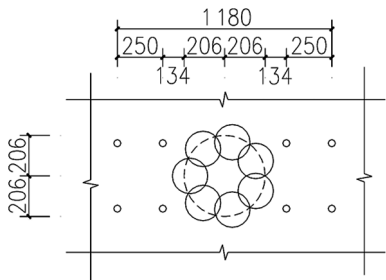


图 4 底板钻孔施工示意图(单位:mm)

Fig. 4 Schematic diagram of foundation slab drilling(unit:mm)

机引孔至淤泥层面,后静压钢管桩;引孔直径 273 mm,采用泥浆护壁,比重控制在 1.25~1.35。

4.2 室内钢管混凝土桩施工

室内钢管混凝土桩施工流程为:测量、放线→钻机钻穿筏板成孔→引孔至淤泥层→锚杆植筋施工→利用锚杆静压法将钢管混凝土桩压至设计深度→钢管混凝土桩焊接连接→钢管混凝土桩内侧注 C40 混凝土→锚杆孔清理,焊接封桩钢筋→抽干孔内积水,钢筋混凝土封顶至筏板面,养护。

(1) 钻机成孔施工工艺

采用钢筋探测仪探测出筏板钢筋位置,在钢

筋边按图 4 所示的方法对筏板进行钻孔,成孔后改用 $\Phi 273$ mm 钻头引孔至淤泥质土层内 2 m 左右,再采用潜水钻机械设备预钻孔至淤泥层。

(2) 锚杆植筋施工工艺

施工工艺流程:弹线定位→钻孔→洗孔→钢筋处理→注胶→植筋→固化养护→抗拔试验桩段制作。

根据设计图纸标注出植筋位置,采用 $\phi 36$ mm 的冲击钻进行钻孔,钻孔深度不小于 $20d$ (d 为钢筋直径)。用毛刷伸至孔底来回抽动,把灰尘和碎渣带出,再用空压机吹出浮渣,用脱脂棉沾酒精或丙酮擦洗孔壁。采用角向磨光机以及钢丝刷除锈,清除钢筋锚固段表面锈迹及其它污物,打磨至露出金属光泽为止。从孔底开始注胶,注胶量不少于 $1/3$ 的孔体积(扣除钢筋体积后),同时将结构胶涂于钢筋锚固前端 2~3 mm,缓慢将钢筋插入孔内,同时旋转钢筋,使结构胶从孔口溢出,排出孔内空气,钢筋外露部分长度要满足设计要求。植筋施工后注意保护,24 h 内严禁有任何扰动。结构胶正常固化后进行非破坏性拉拔试验,采用专用的钢筋测力计检测工作状态的植筋质量,检测的数量是植筋总数的 10%,测力计施加的力要小于钢筋的屈服强度,大于设计部门提供的植筋设计锚固力值。若加力达到钢筋屈服强度时,钢筋出现颈缩现象、继而拉断,表明钢筋和植筋胶合格。

(3) 锚杆静压法施工工艺

采用静压法对钢管混凝土进行施工^[9],压桩反力架安装及压桩时均要保持垂直,同时应保持千斤顶与桩段轴线在同一垂直线上,千斤顶施加的压力中心与截面形心重合。压桩应连续进行,尽量减少接桩时间,中途不得长时间停顿。如桩尖进入碎石障碍物或较硬土层、压桩力急剧增加,可采用液压系统稍压入、持荷、再压入、再持荷,直至达到设计深度或承载力。

室内钢管混凝土桩压桩不应同时集中一处施工,多台设备同时施工时,同一轴线上不应超过 2 台。同时做好压桩记录,采用以终压力控制为主,桩长进入持力层深度作为参考的压桩方法。为确保锚杆静压桩施工质量,应采用下述措施进行桩位、桩顶标高、沉桩过程施工控制。

(4) 钢管混凝土桩焊接工艺

焊接前应检查接头部位处理是否符合设计要求以及上、下节桩是否在同一垂直轴线上,是否符

合施焊要求。焊接时两名焊工在桩两侧同时施焊,以保证对称受力,减小变形;焊接后应检查焊接质量,若有漏焊或焊缝高度不够,应及时补焊。

(5) 桩芯混凝土浇筑

钢管内混凝土的水灰比应控制在 0.45 及以下;混凝土的浇灌宜连续进行,间歇时间不应超过混凝土的终凝时间。

(6) 封桩施工工艺

封桩施工是压桩施工的一个关键环节,封桩质量对桩和混凝土底板连接、基桩承载力、联结节点形式都有重要影响。

图 5 为钢管混凝土桩封孔大样图。按设计和规范要求^[8]采用氧割截断钢管桩至设计标高;将钻孔时截断的底板钢筋连接起来,形成封桩桩帽,加强桩和承台及混凝土底板的连接;清理桩孔内渣滓及水;往钢管桩内填充 C40 微膨胀混凝土进行封桩;全部桩头密封结束后进行质量验收。

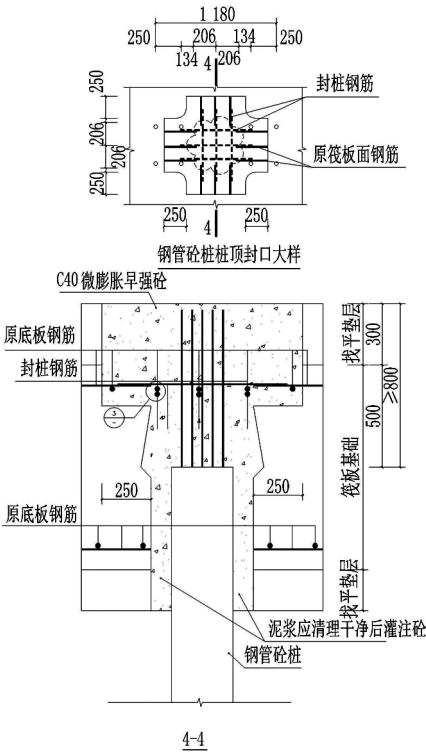


图 5 钢管混凝土桩封孔大样图(单位:mm)
Fig.5 Construction major details of sealing holes of concrete-filled steel tube piles(unit:mm)

4.3 室外钢管混凝土桩施工

室外地下室底板埋深达 5 m,且地下水位较浅,室外钢管混凝土桩施工工艺流程为:降水井施工主人工成孔护壁施工→锚杆静压钢管混凝土桩施工→

封桩→回填至室外地面标高→恢复地面及管线。下面对主要施工工序的施工工艺作详细介绍。

(1) 降水井施工

在基坑开挖范围内设 3 口降水井以疏干吹填砂层滞水。降水井水泵埋设标高为-9.700,降水井井口标高为-0.450。降水要求降至补强承台垫层底以下 0.5 m 即可。

(2) 人工成孔护壁

桩护壁的混凝土强度等级为 C25,第一节挖深约 1 m,浇钢筋混凝土护筒,井圈中心线与设计轴线的偏差不得大于 10 mm,井圈顶面应比场地高出 100~150 mm,壁厚应比下面井壁厚度增加 100~150 mm。往下施工时,以每一节为一个施工循环,每一节高度为 1 m。

(3) 锚杆静压钢管混凝土桩施工

该部分内容同 4.2。

(4) 回填土施工

补强承台混凝土浇筑达到设计要求的强度后,进行回填土施工。填土要均匀分层夯实,填土材料可用黏性土或砂土,但不得含有草、垃圾等有机物质,压实系数不小于 0.94,回填后承载力不应低于原状土承载力。

5 加固效果分析

5.1 钢管混凝土桩质量检测

钢管混凝土桩桩身完整性采用低应变法检测,单桩竖向承载力采用堆载静压法检验,取样数量执行现行检测规范^[8-10]。钢管混凝土桩施工完 28 d 后开始对桩进行低应变及单桩竖向抗压承载力检测,桩体低应变检测全部合格,3 根单桩静压载荷试验曲线见图 6 所示。从图中可看出,单桩

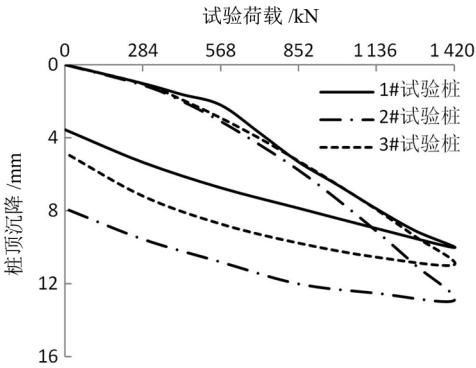


图 6 钢管混凝土桩单桩静载试验曲线
Fig.6 Test curves of static loading of concrete-filled single steel tube pile

载荷为 1 420 kN 时累计沉降最大量为 12.90 mm,且 $Q-S$ 曲线平滑,所以单桩承载力特征值应不小于 710 kN。

5.2 地基沉降监测

建筑基础加固处理后,对建筑物柱竖向沉降进行长期监测,其中 F1、F2、F5 和 F8#监测点累计沉降曲线及沉降速率如图 7 所示。

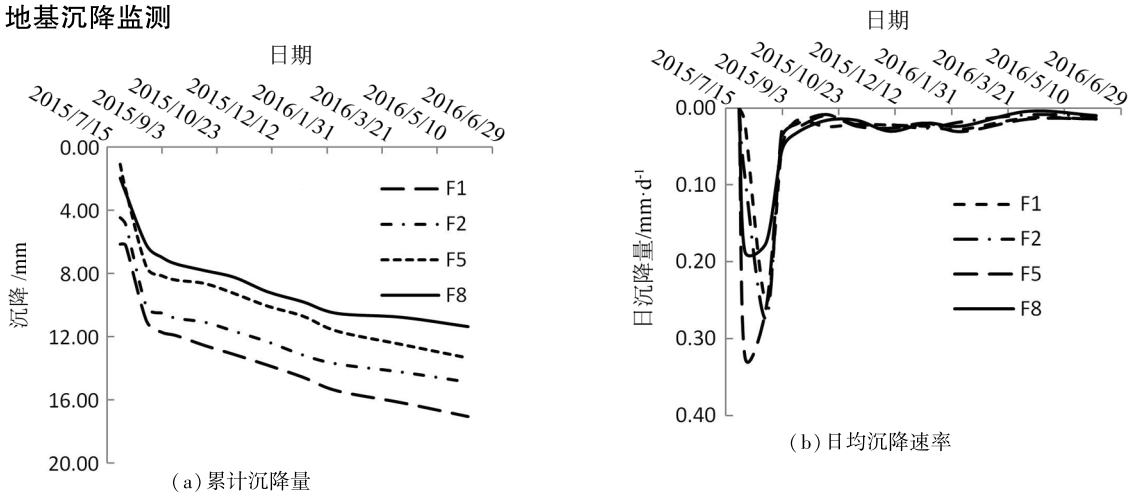


图 7 建筑物基础加固后沉降监测曲线

Fig.7 Monitoring curves of building subsidence post foundation reinforcement

从图 7 可以看出,桩基加固施工结束后初期各点沉降幅度较大,继续沉降最大量达 17.04 mm,这是因为工程基础加强处理是基于减沉复合疏桩基础理论进行设计的,即为加强钢管混凝土桩基和复合地基的协调工作,满足复合地基的沉降和建筑物沉降控制的需要,加固桩基按其极限值进行布桩,且桩端不进入强、中、微风化岩层,因此加固后仍会有一定的沉降量。在桩基加固施工结束 2 个月后各测点沉降逐步稳定、沉降速率逐步减缓,各测点沉降速率均小于 0.04 mm/d,符合建筑沉降

稳定标准,达到基础加固目的。

6 结论

对分布较厚软土层的吹填土地基,由于填土荷载或填土自身压缩沉降所引起垫层变形过大,难以形成复合地基,导致上部建筑物沉降过大的工程事故,在设计中应引起足够的重视。

在工程实践中,采用钢管混凝土桩加固基础沉降速率即明显下降,效果很好,但技术复杂,工序较多,效率较低,施工时必需严格质量控制。

参考文献:

[1] 李广信,张丙印,于玉贞.土力学[M].北京:清华大学出版社,2013.
[2] 龚晓楠.复合地基理论及工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
[3] 地基处理手册编写委员会.地基处理手册[M].2 版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
[4] 张宇亭,董海军.滨海地区吹填土地基加固处理差异性分析[J].岩土工程技术,2010,24(6):312-314.
[5] 王芳,郭进京,郑忠成.吹填土地基处理方法的讨论[J].岩土工程技术,2009,12(6):15-18.
[6] 邝文浩,周乐福.锚杆静压钢管桩在基础加固中的应用及实践[J].广东土木与建筑,2015(2):30-31.
[7] 周勇,王莹.型钢-混凝土组合梁式静压桩在旧有建筑基础加固中的应用[J].//工业建筑,2015,45(S0):388-390.
[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.既有建筑地基基础加固技术规程:JGJ123-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基桩检测技术规程:JGJ106-2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基处理技术规范:JGJ79-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.