

复合桩基新技术在厦门建筑工程中的应用研究

林树枝^{1,2} 汪亚建²

(1. 厦门市建设与管理局 361003; 2. 厦门大学建筑与土木工程学院 361005)

摘要:为进一步发挥复合桩基中土体的承载作用,厦门市通过技术攻关,创新性地提出了桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术。该项新技术充分利用了地基土的承载力,并利用桩顶变形调节装置使桩土协调工作,共同支撑整幢大楼的荷载,具有桩数少、桩长短、施工快、投资省等优点。厦门市嘉益大厦、蓝湾国际、当代天境等项目的成功实践,证明了该项复合桩基新技术具有很好的推广应用前景。

关键词: 复合桩基 变形协调装置 桩土协同工作

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1004 - 6135(2010)06 - 0001 - 03

The Research and Application of a New Composite Pile Foundation in Xiamen

Lin Shuzhi^{1,2} Wang Yajian²

(1. Xiamen Construction and Administration Bureau 361003;

2. School of Architecture & Civil Engineering, Xiamen U., 361005)

Abstract: In order to fully utilize the bearing capacity of soil, a new concept of composite pile foundation with deformation-coordinating device was proposed. The deformation-coordinating device on the top of pile would make soil and piles work together to support the whole load of high-rise building. This new technology has many kinds of advantages by which the numbers of piles are decreased, the lengths of piles are shorted, the construction becomes easier and the costs are cut down greatly. It was successfully applied in Jiayu Building, Blue Gulf International buildings and Modern Tianjing building. It has proved that this new composite pile foundation is with a very good prospect for application.

Key words: Composite Pile Foundation Deformation-Coordinating Devices Pile-Soil Interaction

1 引言

由于不同地区岩土工程特性差异较大,当地又没有成熟的经验可循,许多设计单位在进行高层建筑桩基设计时,为确保安全,通常采用较为保守的设计方法,这不但在经济上造成了巨大的浪费,有时还造成了工期的延误^[1]。因此根据规范及有限的地区性工程经验,合理的选择和优化桩基方案显得尤为重要。

厦门地区地质情况复杂,基岩岩面起伏很大,花岗岩残积土层中常遇到孤石,桩基工程施工难度很大,常规复合桩基又难于实现桩土共同作用,为此,厦门市通过技术攻关,创新性地提出了桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术,并成功应用到嘉益大厦、蓝湾国际及在建的当代天境等项目。由于该项新技术具有良好的安全性和经济性,因此在厦门建筑工程中越来越受到重视。本文首先介绍常规的复合桩基,然后着重介绍复合桩基新技术的原理及创新点,本项研究工作对复合桩基在更大范围内的推广应用具有重要价值。

2 常规复合桩基

传统高层建筑桩基础多采用均匀等长、等直径的布桩方式,把桩打到基岩上,利用岩石支撑整栋大楼,基岩层与基础底板之间的土层基本不发挥作用,当基岩埋藏较深时,须设计长

桩,桩基础造价很高。

复合桩基^[2]是指按大桩距(一般在5~6倍桩径以上)稀疏布置的低承台摩擦群桩或端承作用较小的端承摩擦桩与承台共同承载的桩土复合型基础。在保证安全的前提下这种复合基础可合理调整地基土刚度与桩基支承刚度,以达到调平基础差异沉降、降低基础造价的目的。

复合桩基的布桩通常按承台板下等刚度设计,尽管布桩有一定的数量,但基础的碟形沉降仍不可避免。基础沉降下凹的碟形分布即边缘部位(基础边、角部分)沉降较小,中心部位沉降较大,是因为支承刚度内外差异所致;要解决这一问题,可通过调整基础的刚度分布等方法,如调整地基土的刚度,或调整桩基的支承刚度^[3]。

2.1 地基土刚度分布调整

调整地基土刚度可采用:(1)设置变刚度垫层。在基础边缘部位采用刚度较小的垫层(如松砂垫层),而基础中心部位采用刚度较大的垫层(如素混凝土垫层),通过改变基底反力的分布形态,使基础处于有利的受力状态(图1);(2)设置竖向增强体对地基上进行加固(如搅拌桩等),改变土层中的应力场,使加固区土体模量提高、刚度增加。

2.2 桩基支承刚度调整

桩基支承刚度增大的区域宜与上部荷载较大的区域相对应,即在荷载较大的地方(筏板中央区域)布置长而粗的桩,而在荷载集度小的地方(筏板边缘区域)布置短而细的桩。通过人为调整桩基支承刚度即通过合理地增减桩长、桩径和桩距,使桩顶反力与地基反力的分布更趋合理,进一步调平基础的碟形差异沉降,实现复合桩基的优化设计(图2)。



作者简介: 林树枝,男,1963年5月出生,工学博士,教授级高工,教授,硕士生导师,总工程师。长期从事高层建筑结构、结构抗震、结构优化设计、地基基础研究。

收稿日期:2010-03-08

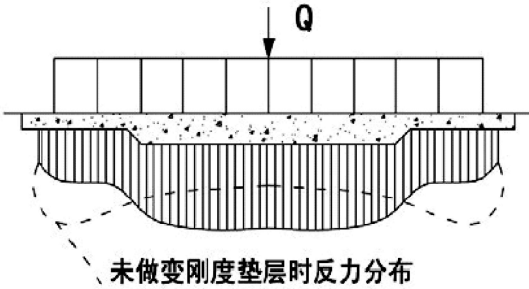


图1 采用变刚度垫层时基底反力分布

Fig. 1 The counterforce distribution in variable stiffness cushion method

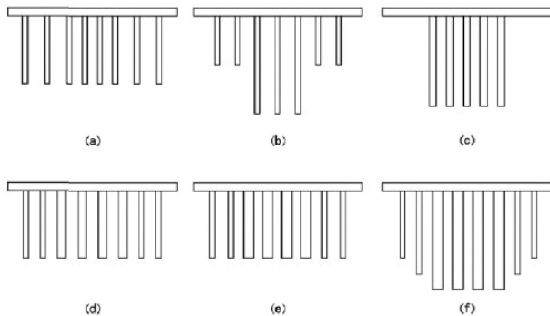


图2 桩基支承刚度分布的人为调整方式

Fig. 2 The variable stiffness piles method

- (a) 等径不等距等长; (b) 等径或不等距不等长; (c) 中心局部桩;
- (d) 不等径等距等长; (e) 不等径不等距等长; (f) 不等径不等距不等长

3 复合桩基新技术

复合桩基的优势是通过发挥桩间土的承载力,减少桩长和桩数,在软土地区已得到广泛应用,取得巨大经济效益。但在非软土地区,天然地基承载力较高,高层建筑若直接采用天然地基上的筏板基础,承载力不能满足要求或沉降过大;若采用桩筏基础,因桩端持力层土质好、压缩性低,桩基沉降很小,桩间土的承载力就很难发挥,上部结构荷载主要仍由桩承担。因此,非软土地区采用复合桩基难于达到桩土共同作用的理想效果,天然地基承载力得不到充分利用,浪费巨大。为了解决上述问题,厦门市组织技术攻关,创新性地提出了一种在桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术。

在桩顶设置变形调节装置,即在筏板与桩顶之间,设计安装了一个变形调节器(俗称桩顶“弹簧”),该调节器的主要作用是在桩筏承载过程中,弱化桩基对筏板的支撑作用,使筏板相对于桩顶发生向下位移,筏板挤压桩间土体,从而使桩间土的承载力得到充分发挥。

桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术,其最大创新点除了充分利用土层承载力外,关键还在于桩顶“弹簧”的设计(图3)。由于在花岗岩残积土层中,埋藏着大量孤石,因此可能会有一部分桩基顶在孤石上,另一部分桩基嵌在土里,桩基的底部硬度不同。为了让所有桩基沉降一致,桩顶“弹簧”还起到调节桩顶沉降差的作用。

桩顶的调节装置的设计原则为:要使各桩的组合刚度值与承台下土体刚度值相匹配,使桩与土体能合理分担荷载,共同工作;各桩的组合刚度值差别不大于20%;各调节装置应具有足够的变形量,能保证调节装置不会被完全压死而丧失调节功能。在调节装置的工作范围内,装置的压缩变形与反力保持正比例关系。

设置桩顶“弹簧”后,通过刚性承台,可协调桩土之间的沉

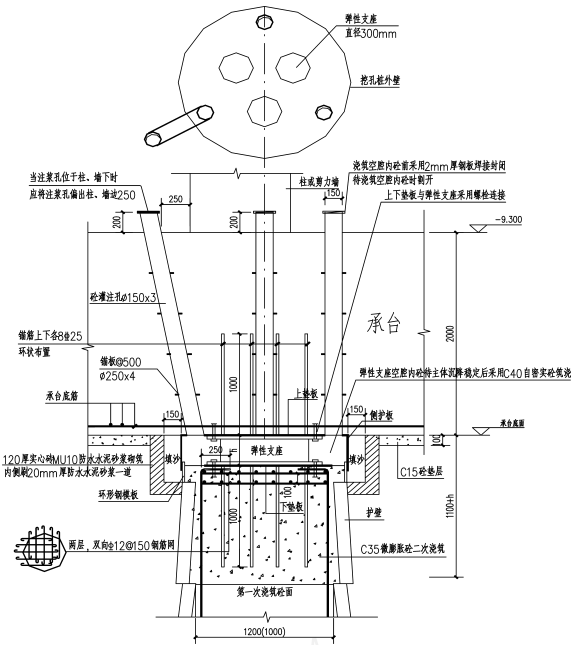


图3 桩顶变形调节装置(桩顶“弹簧”)

降差,在达到设计预估的基底土压力或沉降量之前,地基土和桩顶“弹簧”共同承担荷载;当设计认为地基土已经不宜再继续承载或沉降量较大不宜再继续承载时,可以将桩顶“弹簧”位置处的空腔采用混凝土浇筑填充使“弹簧”硬化,桩顶“弹簧”退出工作,后期的荷载主要由桩来承担。

4 应用实例

4.1 嘉益大厦

嘉益大厦位于厦门市嘉禾路。工程地质条件异常复杂,土层中分布有大量直径不等的未风化孤石。土层主要由三部分组成:层(厚1.2~9.1m)主要为人工填土、新近沉积层以及海积层等,该部分土层在地下室施工时,全部清除;层(厚36.3~58.9m)为花岗岩残积土粘土层,是基础的主要受力层,该层又可分为3个亚层;基岩,主要为燕山期花岗岩。勘探过程中,有94%的钻孔遇到孤石。孤石水平方向随机分布,且密度较大,纵深方向呈串珠分布,单个钻孔揭露的孤石最多达7个,单个孤石在钻孔内的厚度为0.4~17.4m。孤石的岩性多为微风化花岗岩,也有中、强风化花岗岩。部分孤石岩性为微风化花岗岩核心,外包中、强风化外壳。上述孤石的存在对常规基础的施工和检测造成了巨大的困难。

经多方案比选,最终采用桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术,桩基遇到较大孤石时即终孔。与其他基础方案对比,应用这一技术具有极为明显的优点:桩长较短,平均长度仅6.8m,最深的也不到10m,大大节省了投资,缩短了工期。

人工挖孔,工艺简单,速度快,而且安全性高、质量可靠;既没有冲钻孔桩施工时的泥浆污染,同时也不存在锤击或振动沉管灌注桩施工时的噪音,取得了很好的环境和社会效益;减少了传统人工挖孔桩施工时大量岩石爆破带来的负面影响^[4]。

本工程做了大量的现场实测,建筑物封顶以后,桩顶位移调节装置压缩变形6~20mm,平均压缩变形12mm。桩顶位移调节装置平均变形量随时间呈线性变化。桩基承担总荷载的12%,余下荷载由地基土承担。建筑物封顶时平均沉降为27mm,竣工1.5年后的平均沉降为37mm,稳定后的平均沉降仅为39mm。投入使用以来,未发现大楼倾斜或不均匀沉降,且已经历多次有感地震和强台风的考验,表明大楼结构和地基基础安全、稳定,工作良好,各项性能指标均满足国家相关规范的要求。嘉益大厦应用这项新技术,共节省投资1400万元,经

济效益十分可观^[5]。

4.2 蓝湾国际

厦门市另一个高层建筑项目蓝湾国际(共5幢)在基础建造过程中也遇到了同样的问题,该项目存在基岩面不均匀、孤石较密集等复杂地质情况。根据地勘报告,166个地质钻孔中有90个钻孔(54.2%)遇到228个孤石。勘察报告预测,实际埋藏于场地内的孤石要比钻探过程中的更多。原基础设计方案采用直径为800mm的大直径钢管灌注桩,平均有效桩长近38m,桩尖坐落在风化花岗岩表面。在先期施工的252根桩中,只有78根能穿过花岗岩残积土层到达风化基岩,其余2/3以上的桩遇到孤石无法正常成桩。

孤石含量如此之高的场地,不改变基础型式,施工就难于继续进行。新的基础方案应尽量减少桩数,减少桩长,这样就可减少遇到孤石的概率。而要减少桩的长度和数量,就必须发挥土的承载作用。最终本工程也采用桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术,桩基为直径1000mm的人工挖孔灌注桩,桩端落在残积土层上,桩长15m,遇到较大孤石时即终孔。

本工程实测表明,基础沉降均匀,总体沉降量不大(平均沉降,北一楼35.91mm,北二楼40.66mm,北三楼41.65mm,南一楼35.03mm,南二楼32.91mm),测出的桩顶反力及土压力均在预估的范围内,基础工程取得成功。本工程运用桩顶设置变形调节装置的复合桩基新技术,保守估计,可节省成本超过2000万元。

4.3 当代·天境

嘉益大厦和蓝湾国际,建筑高度均小于100m,在这两个项目成功地研究并应用了复合桩基新技术后,厦门市又将这一新技术应用到在建的超高层建筑项目“当代·天境”(建筑高度120m)。本工程将桩顶变形调节装置安装在端承桩上,用于协调桩土之间的沉降差,这是端承桩技术在超高层应用中的进一步突破^[6]。

根据地勘报告,承台下残积土层的承载力特征值为320kPa,经深度和宽度修正后其承载力特征值为 $f_{ak} = 410$ kPa。基桩采用直径1200mm的人工挖孔灌注桩,桩端以强风化花岗岩作为持力层,桩长约12m,单桩承载力特征值 $R_a = 4200$ kN。计算

分析表明,本工程设计的端承桩复合桩基,约60%的上部荷载由承台下地基土承担,充分发挥了地基土的承载能力,基桩约承担上部荷载的40%,与常规桩基相比,工程桩桩长缩短约30m,大大降低了施工难度,整个基础工程的造价节省了30%以上,经济效益显著。

5 结语

厦门地质情况复杂,花岗岩残积土层中常遇到孤石,有些地块打桩遇到孤石的概率甚至超过90%。嘉益大厦、蓝湾国际和当代·天境的实践证明,桩顶设置变形调节装置复合桩基新技术具有较大的创新性、安全性和经济性。该复合桩基新技术的成功实施,为在我国东南沿海花岗岩残积土地区推广复合桩基技术,积累了宝贵的经验,同时也为我国高层建筑基础工程的优化设计提供了一种崭新的思路。当然,由于工程设计和应用实例还不够多,相关的研究还需要更深入的进行,相信通过不懈的努力,桩顶设置变形调节装置复合桩基的设计和应用,一定会有广阔的前景。

鸣谢:厦门市复合桩基课题组成员:陈振建教授级高工(福建省建筑科学研究院)、裴捷教授(上海现代设计集团)、周峰博士(南京工业大学)、郭天祥高工(江苏时代建筑设计有限公司)等参加了本项目研究,特致谢意。

参考文献

- [1]王美云等. 某桩基工程优化设计实例[J]. 勘察科学技术, 2004(6): 41~43.
- [2]宰金珉. 复合桩基理论与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004.
- [3]刘孔玲,彭利英. 复合桩基的优化设计分析[J]. 山西建筑, 2006(9): 94~95.
- [4]林树枝等. 嘉益大厦复合桩基技术研究用[J]. 福建建筑, 2008(6): 49~53.
- [5]林树枝,廖河山. 高层建筑地基基础优化研究[J]. 福建建筑, 2009(1): 1~3.
- [6]郭天祥,林树枝. 桩顶设置弹性支座的端承桩复合桩基的设计及应用[J]. 福建建设科技, 2010(1): 11~14.

(上接第14页)

在各专业设计人员、城市居民以及公众和政治领导人之间的系统的不断的互相协作配合的基础上”。因此,协调工作是城乡给水排水工程规划的基础,是城乡给水排水工程规划合理性、科学性、可实施性的有力保证。

4 结语

城乡给水排水工程规划是城乡规划的重要组成部分,是城乡可持续发展的重要环节。为了提高城乡给水排水工程规划设计水平,规范规划编制成果,科学合理地编制城乡给水排水工程规划,提升城乡环境,亟需一套统一的、系统的城乡给水排水工程规划编制办法和实施细则,重点应做好以下几点:

- (1)明晰城乡给水排水工程规划编制体系及其各规划间的依托关系,形成专业化、制度化、程序化的规划编制办法和实施细则,促进各规划编制成果间的有机融合;
- (2)明确各层面规划的编制边界,把握好城乡给水排水工程规划自身的编制深度;
- (3)提出对各层面规划编制成果的强制性技术规定,形成规划的核心内容;
- (4)处理好与其它相关规划、计划间的关系,加强与外部文件资料的联系;

(5)建立合理的规划公示机制,促进不同规划/建设/管理单位间的资料交流,充分发挥规划的公众参与功能。

笔者殷切期望广大城乡给水排水工程规划工作者集思广益,加强研究,共同促进我国城乡给水排水工程规划编制办法及其实施细则等相关专业化规范法规文件的尽早出台,使城乡给水排水工程规划编制成果更科学、更合理,提升城乡给水排水工程基础设施建设水平。

参考文献

- [1]关鸿滨,张晋峰. 城市给排水专项规划的编制要点[J]. 科技情报开发与经济, 2001, 11(5): 40~41.
- [2]邱跃,甘靖中. 第4分册 城市规划实务[M]. 第3版. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
- [3]全国城市规划执业制度管理委员会. 城市规划实务(试用版)[M]. 北京:中国计划出版社, 2008.
- [4]戴慎志,陈践. 城市给水排水工程规划[M]. 合肥:安徽科学技术出版社, 1999.
- [5]陈冬. 论科学化的城市给排水规划[J]. 科技创新导报, 2008, (16): 132.
- [6]全国城市规划执业制度管理委员会. 城市规划相关知识[M]. 北京:中国计划出版社, 2002.