

树根扩底桩作为多层建筑 基桩的工程实践

卞月明

寇秉厚 王学军

(武警浙江省总队营房处 杭州 310012) (杭州市勘察测绘院 杭州 310012)

【提要】 本文结合具体工程实践,介绍了树根桩的特点、施工工艺及质量检验,最后提出了自己的看法,可供同行参考。

【关键词】 树根桩 基础桩 树根扩底桩 基桩施工 质量检验

【Abstract】 This paper introduces the properties, constructive technique and quality test of root piles through practical cases. And proposes some views for reference.

【Keywords】 Root piles, Foundation pile, Root belled pile, Foundation pile construction, Quality test

1 概述

树根桩 (Root Piles) 即小型钻孔灌注桩,作为一种地基加固托换处理的手段,在30年代由意大利的 Lizzi 首创。自此以来,国际上已在3000多个工程上得以应用,如意大利罗马 S. Andrea delle Fratte 教堂的加固;意大利 Venice 的 Rurano 钟楼止倾,用树根桩托换;意大利 Naples 市政府办公楼的加层基础加固等等,均取得很好的效果。在日本简称 RRP 工法,而英美各国,已将树根桩列入地基处理中的“土的加筋”范畴。在我国80年代以来开始进行了研究,以同济大学、上海勘察院和机械工业部第四设计院等单位起步较早。首例工程当属1981年苏州虎丘塔的托换加固,同济大学设计,并在现场与室内做了大量试验。继而1983年又在上海新卫机工厂现场做了大量试验研究工作。之后在全国各地逐渐推广应用。

树根桩托换由于所需施工场地较小,且在室内净高2.8m即可施工;施工噪音和振动小,对周围环境无安全性危害;施工自由度

较大,在地面上施工可以打成竖孔成桩,也可以打成任意角度的斜桩;桩孔较小,采用回转钻进采土,对地基和原有基础不会产生内应力积聚造成的影响;由于采用压力灌浆工艺桩身表面毛糙与岩土体结合紧密;树根桩几乎适用于各种岩土体和地基土条件,乃至在原有基础上钻孔施工;竣工后加固体不操作建筑物外貌,尤适用于修复古建筑等优点和特性。以往树根桩在建(构)筑物纠倾地基处理、旧有受损建筑修复及建筑增层地基加固等方面应用较多。但是鉴于桩径较小,单桩承载力不高等原因,在推广应用上有一定局限。

1996年4月我们在浙江省武警总队采路营区1°楼工程中成功地采用树根扩底桩作为基础桩,收到了良好的效果,在开拓树根桩应用途径方面迈出了新的一步。

2 工程概况与工程地质条件

该建筑为7层底框架上砖混结构住宅用房,建筑面积2500m²,底面积41.2m×8.5m坐落在杭州城东郊钱塘江冲积沉积的砂性地

作者简介:卞月明,男,工程师,1992年毕业于南京工程兵工程学院土木建筑工程专业。主要从事施工技术管理,质量监督等工作。

表 1 各土层物理力学性质及设计参数一览表

层 次	土 名	层 厚	w ×100	γ /kN·m ⁻³	e	a_{1-2} /MPa ⁻¹	φ	c /kPa
1a	杂 填 土	0.6~1.7						
1b	素 填 土	0~2.1						
1c	塘 淤 泥	0~1.1						
2a	粘质粉土	1.1~2.6						
2b	粉 砂	5.2~6.7	26.7	18.7	0.777	0.10	35.4°	18
2c	粉砂夹砂质粉土		27.1	18.8	0.790	0.13	33.6°	22

层 次	q_c /MPa	f_s /kPa	N /击·30cm ⁻¹	f_k /kPa	E_s /MPa	q_s /kPa	q_p /kPa
1a	2.5	30					
1b	1.0	20					
1c	0.5	8					
2a	3.0	40	9	150	10	15	800
2b	9.0	110	24	200	20	25	1650
2c	5.0	50	27	180	15	20	

注：表中 w ——天然含水量， γ ——天然重度； e ——天然孔隙比； a_{1-2} ——压缩系数； φ ——快剪内摩擦角； c ——快剪内聚力； q_c ——静力触探锥尖阻力； f_s ——静探侧摩阻力； N ——标贯的击数； f_k ——地基承载力标准值； E_s ——压缩模量； q_s ——桩侧摩阻力标准值； q_p ——桩端承载力标准值。

基上，地表有1.0~2.7m的人工杂填土，下为砂质粉土。深3.0~4.6m以下始为中密状态粉砂土，层厚大于7m，再深14m以下为大厚度灰色淤泥质软粘土。

3 环境影响及基础方案的变更

本工程由杭州市建筑设计院设计，原采用Φ377mm夯扩短桩计151根。单桩承载力取用400kN。由于西面已建6层砖混结构住宅的住户对打桩振动的干扰及安全提出强烈异议，反响较大，更由于在2*楼打桩施工时由于打振动沉管灌注桩，施工时土体振动与

挤压作用造成西外侧5m下部Φ500mm污水管断裂致使水土流失，地面坍塌，情况危急，后专门进行了支挡加固，情况缓和。本1*楼场地情况与2*楼相同，如图1所示。

若仍采用夯扩桩，恐也有同类情况发生。为避免再次发生2*楼情况，须选择一种无噪音无振动的桩型，我们想到了树根桩，但须突破原树根桩直径小，承载力低的局限，可以在成桩工艺上作些改进，经与设计单位研究决定采用Φ350mm扩底到480mm的树根扩底桩作为基础桩。

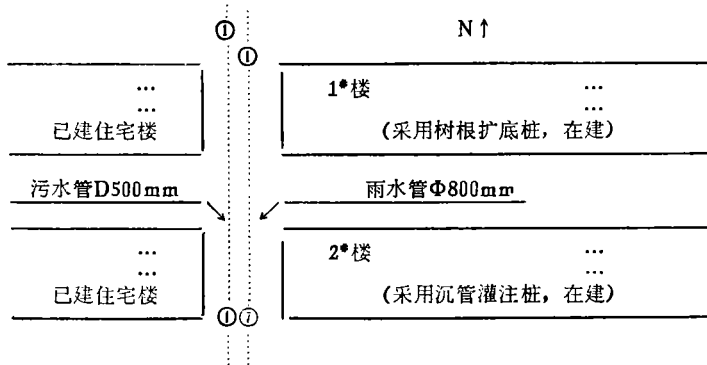


图 1

4 试验工作与单桩承载力的确定

为了做到心中有底稳妥可靠,于1996年3年12日先打了两根试桩 $\Phi 350$ mm,桩长8m,深7m处开始扩大至 $\Phi 480$ mm扩深1m,桩身 $\text{C}25$,加早强剂,配钢筋笼长5500mm, $6 \times @12$,箍筋 $\Phi 6@300$ mm。其中1 $^{\circ}$ 试桩位于B轴与11轴柱的西南角桩;2 $^{\circ}$ 试桩位于B轴与3轴柱的东北角桩。成桩工艺流程是:
①埋护筒就位;②用 $\Phi 350$ 四翼钻回转钻进,泥浆护壁;③至变径深度起钻,换 $\Phi 480$ mm四翼机械滑管外撑式钻头继续钻进1m终孔;④起钻,下钢筋笼,下注浆管;⑤投放3~4 cm碎石料,并边摇导管边补充石料,保证孔内充盈至孔口;⑥用导管接水泵冲洗孔至

接近清水;⑦压力注浆,注浆压力0.4kPa,无砂砼,水灰比0.65,直至浓浆溢出口;⑧缓缓拔出注浆管,并补浆补石料至护筒口;⑨拔出护筒,并要及时、真实做好每根成桩的施工记录。

为测得扩底效果,我们在两根试桩中作了一根扩底,一根不扩底的安排,试桩完成后,曾委托浙工大于3月下旬做了两根桩的静力载荷试验,并于4月上旬请浙大做了小应变桩动测,所得动静测试结果有所差异,为了取得合理的单桩承载力,又请杭州时代岩土工程技术服务公司作了“单桩承载力综合评价及工程桩施工技术要求”咨询报告,详见表2。

表2 静载、动测、计算树根桩单桩承载力综合比较表

试 桩 号	方法	桩 静 载			桩 动 测			按桩基规范计算		
	数值	极 限	容 许	比 率	极 限	容 许	比 率	极 限	容 许	比 率
	符号	$R_{\text{静}}$	R_{k}	$\times 100$	$R_{\text{动}}$	R_{k}	$\times 100$	$R_{\text{静}}$	R_{k}	$\times 100$
1 $^{\circ}$ 试桩东部扩头		560	280	100	680	340	121	672	336	120
2 $^{\circ}$ 试桩西部不扩头		700	350	100	480	240	69	69	304	87

注:由表2可见三种手段评价有差异,误差在20%~30%,其原因主要是1 $^{\circ}$ 试桩扩头承载力小,2 $^{\circ}$ 试桩不扩头承载力反而大,经施工人员回忆1 $^{\circ}$ 试桩底沉渣未处理干净,看来还是施工工艺把关问题。

最后设计采用了树根扩底桩,单桩承载力取用300kN,并正式修改设计,出了桩位布置平面图,共布199根桩,桩身的标号仍为 $\text{C}25$,钢筋笼配筋 $6 \times \Phi 12$,箍筋 $\Phi 6@300$ mm,长度4m(包括插入承台450mm),有效桩长6.05m,持力层仍为(2b)粉砂层:桩端土承载力标准值按 $1650 \times 0.85 = 1400$ kPa考虑。并要求施工时严格试桩工艺流程操作,确保桩身质量,单桩承载力要达到设计要求(见图2)。

5 基桩施工与质量检验

5.1 基桩施工于1996年4月23日正式开始,共先后进场XY100型,液压300型等工程钻机5台机组,成桩长度7.5m,有效

长度6.3m,桩径 $\Phi 350$ mm,下端1m扩头至 $\Phi 480$ mm, $\text{C}25$,筋笼按设计要求制作。由于施工场地狭窄,供电、供水紧张,更由于原地质报告未反映场地下有孤石,老基础及东部场地3m下有废弃砼混,砼底大范围废料池等隐患,困难较多,进度受阻。经多方努力于1996年5月26日完成施工,历时34天,实际作业28天。经统计,桩身砼体积 $0.968 \text{ m}^3/\text{桩} \times 199 \text{ 根} = 193 \text{ m}^3$ (充盈系数按1.2计),折算单方桩体承载力 $199 \times 30/193 = 309$ kN/ m^3 。共耗用石料390t,水泥118.2t,钢材4.24t。估算桩部分单方造价直接费为1000~1200元/ m^3 左右,基本接近大直径钻孔灌注桩单方造价。

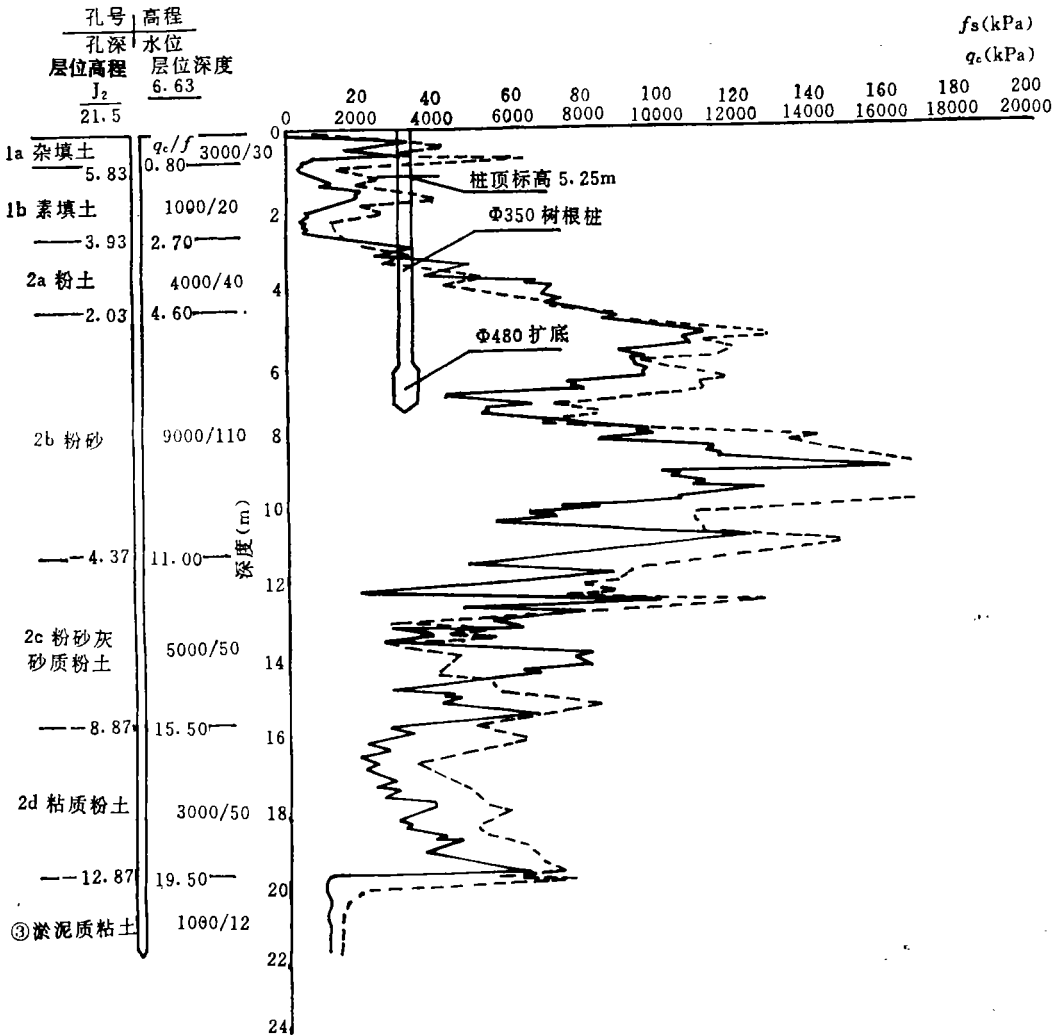


图2 静力触探曲线图

5.2 施工质量检查与工程质量

(1) 桩偏位情况——径桩位复核，极大部分桩径、垂直度及桩位偏差在规范容许范围内，唯13根桩偏位较大，占总数的6.5%，超限桩仅3根，占总桩数的1.5%。

(2) 桩身砼质量及单桩承载力情况——由于树根桩成桩工艺所决定是无砂混凝土，无法做砼试块，经96年6月18日委托浙大岩土所作小应变桩动测，计23根桩，占总数的11.6%。结果表明，除个别桩桩身砼为C23外，余均在C25以上；单桩承载力除

1* 试桩待进一步研究分析外，余均符合设计要求。

(3) 工程质量检查与评定情况——经对199根桩逐个检查结果，绝大部分桩身质量为优良与良好，但有8根桩注浆高度不够。占4%，已作了接桩处理，另有三根桩钢筋笼下落，锚筋不足，均按设计要求作了妥善处理。

6 树根扩底桩的推广应用

目前另一幢位于杭州老城区，周围被居民住宅包围，汽车不能到达现场的6层砼灌注

宅楼, 由于种种条件限制, 其他桩型不能实施, 在取得1*楼实践经验的基础上也采用了树根扩底桩, 共136根, 桩长15.6m, 桩长的1/3强配钢筋笼, 现基桩已施工完毕待竣工验收。除此之外, 在城市建筑密集区要见缝插针搞建设, 以及在砂土液化区域建筑多层住宅小区等, 此种桩型还有广阔的应用前途。

7 结论

树根桩以其独特的优点, 过去在地基加固、托换处理中应用较广, 积累了丰富的经验, 但是过去往往因为其桩径小, 单桩承载力低, 造价较高等原因在使用途径上受到限制。作为建(构)筑物基础桩方面的应用更很少有所听闻, 是否可以在原有基础上进行一些突破与改进, 使其增大桩径, 甚至做成扩头桩, 以提高单桩承载力, 开拓作为一种新桩型品种参与到基础桩型的大家族中去, 供各种工程具体条件下去比较, 选择, 扩大树根桩的应用范围。我们通过1#楼的工程实际成本, 作了肯定的回答, 同时也积累了一些经验与体会。通过这个实例介绍, 希望引起大家的关心, 共同来探索, 提高与完善。

下面谈谈几点感受与看法:

(1) 树根扩底桩是一种以端承为主, 桩身侧摩阻为辅的桩型。目前我们是采用泥浆护壁, 回转钻进, 机械式扩底的作业工艺, 适用于人工填土、粉土、粉砂、淤泥质软土及一般粘性土地层; 适宜用于以30m内的中密粉砂或陆相沉积硬塑状的粘性土作为桩端持力层的地基条件。

(2) 树根扩底桩的单桩承载力, 以

$\Phi 350\text{mm}$ 桩径, 扩底到 $\Phi 480\text{mm}$ 。桩长20m以内的工程实践证明, 一般在300~400kN/单桩的范围内, 若能再扩大桩径与扩底直径, 单桩承载力还可以有所提高。

(3) 根据扩底桩目前尚无定额规定, 经初步技术经济分析结果, 桩身部分单方造价直接费在1000~1200元/ m^3 。因此与杭州目前广泛使用的沉管灌注桩、夯扩桩相比较, 造价较高。基本接近于大直径钻孔灌注桩造价, 但在折算为单方桩体所能获取的承载力比较而言, 本工程为310kN/ m^3 。与大直径钻孔桩单方承载力100~200kN/ m^3 相比要大得多。所以当周围环境及场地条件限制, 沉管桩、夯扩桩、静力压桩等都不能应用时, 树根扩底桩还是有其优势和推广前途的。

(4) 树根桩由于采用压力注浆工艺, 经实测情况看桩身质量有保证, 但在桩上端部位由于注浆压力损失, 特别是由于地下水活动的影响等原因, 易造成胶结不良, 浆液流失, 砼离析等质量问题, 要特别严把工艺操作关, 确保工程质量。

(5) 树根桩由于是泥浆护壁, 清水洗孔的作业工艺, 用水量较大, 当地狭小时, 泥浆储存与排放是个麻烦事, 得事先有所准备与妥善安排。

本文由于水平所限, 整理仓促, 不当及谬误之处, 望请批评指正。

参 考 文 献

- 1 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, P540~546
- 2 地基处理与托换技术(第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, P591~609

收稿日期: 1996-10-11