

文章编号: 1007-2993(2010)01-0044-04

木桩在处理桩质量事故方面的应用

朱奎¹ 徐日庆¹ 周鹏飞²

(1. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 浙江杭州 310027; 2. 温州大学, 浙江温州 325000)

【摘要】 结合工程实例介绍了木桩在处理预制管桩质量事故方面的应用, 某工程施工完毕后的检测表明, 预制管桩承载力下降较大, 根据场地地质情况进行加固方案的比较, 采用预制管桩、木桩组合复合地基来处理桩质量事故。阐述了加固参数的设计过程, 并分析加固后基础的沉降情况。竣工后变形观测表明, 加固效果良好, 采用木桩处理预制管桩质量事故在经济技术上是可行的。

【关键词】 木桩; 软土地基; 质量事故; 复合地基; 加固

【中图分类号】 TU 473.1

【文献标识码】 A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2010. 01. 012

Timber Pile was Applied to Treat Prefabricated Tube Pile Quality Accident

Zhu Kui¹ Xu Riqing¹ Zhou Pengfei²

(Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Ministry of Education,

Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China; 2. Wenzhou university, Wenzhou 325000, Zhejiang, China)

【Abstract】 Engineering project in which timber pile was applied to treat prefabricated tube pile quality accident was introduced. Test results after construction completion indicated prefabricated tube pile bearing capacity dropped to much degree, reinforcement plans were compared according to location geology situation, and composite foundation with timber pile and prefabricated tube pile was adopted to deal with pile quality accident, the reinforcement parameter in design process was elaborated in detail, and foundation settlement after reinforcement was analyzed. What's more, deformation observational data after building completion indicated reinforcement effect was good, timber pile is adopted to deal with pile quality accident is feasible in the aspect of economics and technology.

【Key words】 timber pile; soft soil foundation; quality accident; composite foundation; reinforcement

0 引言

木桩处理软弱地基时具有以下特点: ①所需施工场地空间较小, 灵活性大; ②地面操作, 施工简便, 劳动强度较低; ③施工时振动小、噪音低, 无尘土飞扬, 对周围建筑物影响小; ④桩表面粗糙, 能与原有基础和地基紧密结合连成一体共同受力; 桩直径小, 表面积大, 桩身摩阻力大, 强度高; ⑤经济效益显著。但木桩设计计算理论尚未完善, 有待进一步深入研究。结合工程实例介绍了木桩在处理桩质量事故方面的应用。

1 工程概况

某工程建筑面积为 8 126 m², 系五层框架结构, 独立承台基础, 总荷载为 122 850 kN, 采用预应力管桩基础, 桩长为 34 m, 直径为 600 mm, 桩数为 226 根, 布桩密度为 5.83%, 承载力特征值为 552 kN。

土层物理力学指标见表 1。

表 1 土层物理力学指标

土层	层厚 / m	天然含水率 w / %	重度 γ / (kN · m ⁻³)	压缩模量 E _{s1-2} / MPa	地基土承载力 / kPa	桩周侧摩阻力 / kPa	桩端阻力 / kPa
1 杂填土	1				75		
2-1 黏土	2.3	45.6	18.05	3.12	60	11	
2-2 黏土	2.8	39.8	18.63	4.23	130	16	800
3 淤泥	15.2	72.3	16.45	1.62	45	6	
4 淤泥质黏土	3.6	52.5	18.05	3.01	70	10	
5 黏土	5.2	42.8	18.11	3.26	110	14	600
6 粉质黏土	14.6	30.6	18.92	18.28	210	21	1100
7 卵石	未揭露						

基金项目: 温州市科技技术局资助社会发展项目(S20070040)

作者简介: 朱奎, 1975 年生, 男, 浙江温州人, 博士, 高级工程师, 主要从事桩基、复合地基研究。E-mail: wzzhukui@sina.com

2 桩基检测情况

桩基施工完毕后发现桩位偏差较大,桩位偏差超过 7 cm 占 73%,最大桩位偏差达到了 25 cm。根据《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106—2003)^[1]进行低应变法现场检测,共抽样 142 根,抽样比例达到了 62.8%,发现桩完整性较差,Ⅳ类桩桩数为 17 根,达到了 12%,Ⅲ类桩桩数为 45 根,达到了 31.7%,Ⅱ类桩桩数为 72 根,仅为 50.7%,Ⅰ类桩桩数为 8 根,仅为 5.6%。大部分缺陷发生在浅部。

对典型Ⅳ类桩进行了静荷载试验,分级荷载分别为 220.8、331.2、441.6、552、662.4、772.8、883.2、993.6、1 104 kN,当加载至 772.8 kN 时,由于沉降量过大停止加载。典型Ⅳ类桩 $Q-s$ 曲线见图 1(a),静荷载试验曲线表明荷载在 662.4 kN 后出现陡降,累计沉降量为 15.9 mm,该级沉降量为 5.4 mm,而 772.8 kN 时沉降量为 29.3 mm,该级荷载产生沉降量为 13.4 mm,是上级荷载产生沉降量的 2.48 倍。该桩 $s-\log t$ 曲线见图 1(b),图中表明 772.8 kN 时沉降处于不稳定状态,说明该桩已达到极限状态。另外,卸载曲线表明,卸载回弹量仅 3.4 mm,回弹率为 11.6%,反映桩塑性变形较大。参照建筑桩基技术规范(JGJ 94—94)^[2],桩基极限承载力取 662.4 kN,与设计值相比差 40%。

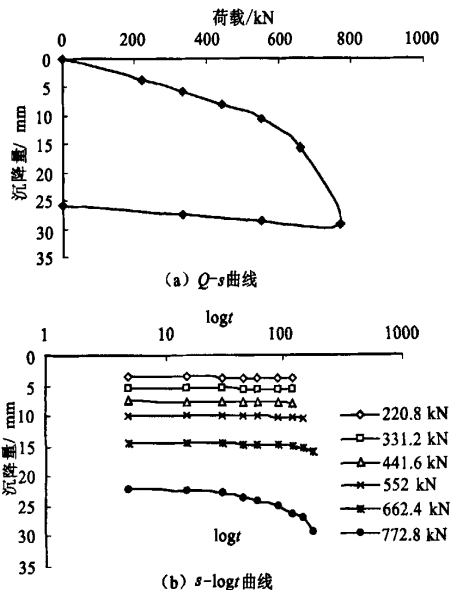


图 1 典型Ⅳ类桩静荷载试验曲线

3 加固设计

3.1 加固方案的比较

根据现场情况,基础处理方式的选择有如下几

种:①筏板基础;②补打预制管桩;③补打水泥搅拌桩;④补打松木桩。

由于该基础采用较长的预制管桩,预制管桩支撑在粉质黏土上,沉降控制相对较好,加固设计中沉降计算也说明了这点。因此对于本工程而言,加固设计关键问题是承载力要满足要求。根据这个加固特点,依次分析上述加固处理方式,筏板基础可以适当提高地基承载力,但由于桩承载力降低较大,经过验算地基承载力尚不能达到要求。由于该工程预制管桩已产生挤土效应,而且过多的预制管桩会出现群桩效应,补打预制管桩无论在施工或设计上是不可行的。该工程施工工期要求比较紧,水泥搅拌桩在水泥土龄期 90 d 后才达到 100% 强度,而该工程要在 80 d 内结构结顶,另外,该地质条件在 9~15 m 区域为淤泥土,如果采用水泥搅拌桩,则水泥搅拌桩成为悬桩,技术经济效果不理想。从地质条件来看 2.3~5.1 m 有粉质黏土,可以把这层作为持力层设置木桩,而且木桩施工机具比较简单,从操作角度看是方便的。

综上所述,加固方案选择补打松木桩加固地基,并把原有独立承台基础改成筏板基础。

3.2 加固参数的确定

木桩复合地基的设计参数包括:桩长与桩径、单桩竖向承载力、单位面积松木桩数以及桩距。

3.2.1 桩长与桩径

考虑到地质情况以及施工操作,桩长选用 4 m,桩径为 150 mm。

3.2.2 单桩竖向承载力

1) 根据桩土体系确定承载力

$$R_{11} = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A = 3.14 \times 0.15 \times (2.3 \times 11 + 1.7 \times 16) + 800 \times 3.14 \times 0.15^2 / 4 = 266.8, \text{ kN}$$

式中: R_{11} 为单桩竖向承载力特征值,kN; u_p 为桩的周长,m; i 为桩长范围内所划分的土层数; q_{si} 为桩周第 i 层土的桩侧阻力特征值,kPa; q_p 为桩端地基土未经修正的承载力特征值,kPa; A 为桩截面积,m²。

2) 根据材料强度确定承载力

$$R_{12} = \varphi \alpha \sigma A = 1 \times 0.5 \times 3600 \times 3.14 \times 0.15^2 / 4 = 31.79, \text{ kN}$$

式中: R_{12} 为木桩的单桩承载力,kN; φ 为纵向弯曲系数,与桩间土有关,一般取 1.0; α 为桩身材料的应力折减系数,木桩取 0.5; σ 为桩身材料的容许应力,kPa,可参见《木结构设计规范》(GB 50005—

2003)^[3],松木桩取 3600 kPa; A 为松木桩截面面积, m^2 。

单桩竖向承载力特征值 R_1 取上述小值, 即 31.79 kN。

3.2.3 单位面积松木桩数

复合地基承载力特征值参照组合桩复合地基的承载力计算公式

$$f_{sp,k} = \beta_1 m_1 \frac{R_1}{A} + \beta_2 m_2 \frac{R_2}{A_{p2}} + \beta_3 (1 - m_1 - m_2) f_{s,k}$$

式中: $f_{sp,k}$ 为复合地基承载力特征值, kPa; m_1 为木桩置换率; m_2 为预制管桩置换率; $f_{s,k}$ 为桩间土承载力特征值, kPa; R_1 为木桩承载力特征值, kN; R_2 为预制管桩承载力特征值, kN; A 为木桩截面面积, m^2 ; A_{p2} 为预制管桩截面面积, m^2 ; β_1 为木桩强度发挥度; β_2 为预制管桩强度发挥度; β_3 为桩间土强度发挥度; β_1 、 β_2 、 β_3 根据地区经验取值。

由上式可得木桩置换率

$$m_1 = (f_{sp,k} - \beta_2 m_2 \frac{R_2}{A_{p2}} - \beta_3 f_{s,k} + \beta_3 m_2 f_{s,k}) / (\beta_1 R_1 / A - \beta_3 f_{s,k}) = (\frac{122850}{1638} - 0.8 \times 0.0297 \times \frac{331.2}{(3.14 \times 0.6^2 / 4)} - 0.75 \times$$

$$40 + 0.75 \times 0.0297 \times 40) / [0.8 \times 31.79 / (3.14 \times 0.15^2 / 4) - 0.75 \times 40] = 0.0128$$

由上式可得单位面积松木桩的数量

$$k = m_1 / A = 0.0128 / (3.14 \times 0.15^2 / 4) = 0.7246$$

式中: k 为单位面积松木桩数, 其它参数见上述各式。

3.2.4 桩距的确定

木桩布桩采用三角形形式, 其桩距可按下式计算

$$L = 1.08\alpha \sqrt{1/k} = 1.08 \times 1.3 \times \sqrt{1/0.7246} = 1.649, m$$

式中: L 为松木桩间距, m; α 为桩间距加密系数, 与原有桩密度系数有关, 本工程实例桩密度为 2.97%, 桩间距加密系数取 1.3。

木桩桩距取 1.6 m, 置换率 m 为 0.0136。

3.2.5 沉降分析

沉降计算区域分为三部分: 木桩和预制管桩共同加固区域 h_1 , 预制管桩单一加固区域 h_2 , 下卧层 h_3 。

沉降计算中每一区域的沉降计算方法按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)^[4]中所提出的规范法进行, 故每一天然土层复合模量的计算是关键(见表 2)。

表 2 复合模量计算表

土层号	层厚 /m	m_1	E_{p1} /MPa	m_2	E_{p2} /MPa	E_s /MPa	E_{sp1} /MPa	E_{sp2} /MPa
2-1	2.3	0.0136	9000	0.0297	25500	3.12	882.7	
2-2	1.7	0.0136	9000	0.0297	25500	4.23	883.8	
2-2	1.1			0.0297	25500	4.23		761.5
3	15.2			0.0297	25500	1.62		758.9
4	3.6			0.0297	25500	3.01		760.2
5	5.2			0.0297	25500	3.26		760.5
6	4.9			0.0297	25500	18.28		775.1

h_1 区域、 h_2 区域内的复合模量公式^[5]分别如下:

$$E_{sp1} = m_1 E_{p1} + m_2 E_{p2} + (1 - m_1 - m_2) E_s \quad (1)$$

$$E_{sp2} = m_2 E_{p2} + (1 - m_2) E_s \quad (2)$$

式中: E_{sp1} 为 h_1 区域的复合模量, MPa; E_{sp2} 为 h_2 区域的复合模量, MPa; E_{p1} 为木桩的变形模量, MPa; E_{p2} 为预制管桩的变形模量, MPa; E_s 为天然土的变形模量, MPa; m_1 为木桩的置换率, m_2 为预制管桩的置换率。

沉降计算公式为

$$s = \psi (s_{h1} + s_{h2} + s_{h3}) = \psi \left[\sum_{i=1}^{n_1} \frac{p_0}{E_{spi}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{p_0}{E_{spi}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \sum_{i=n_2+1}^{n_3} \frac{p_0}{E_{spi}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \right]$$

式中: s 为总沉降量, mm; s_{h1} 为 h_1 区域沉降量, mm;

s_{h2} 为 h_2 区域沉降量, mm; s_{h3} 为 h_3 区域沉降量, mm; ψ 为沉降计算修正系数, 根据地区经验或规范提供表格取值, 本文取 $\psi=1$; p_0 为基础底面处的附加压力, kPa; E_{sp} 为天然土层与桩形成的复合模量, MPa。 Z_i 、 Z_{i-1} 为基础底面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土

底面距离, m; $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ 为基础底面计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数; n_1 、 n_2 、 n_3 为 h_1 、 h_2 、 h_3 内土层数。

加固后基础沉降计算见表 3, 表中反映该工程理论计算值为 30.334 mm, 显然可以满足要求。

表 3 沉降计算汇总表

土层号	Z_i/m	L/B	Z_i/B	$\bar{\alpha}_i$	$4Z_i\bar{\alpha}_i/m$	附加应力 差值/m	E_{sp}/MPa	p_0/kPa	$\Delta s_i/mm$	$\Sigma\Delta s_i/mm$
地表	0	2.423	0	1	0			75	0	
2-1	2.3	2.423	0.088	0.9996	2.299	2.299	882.7	75	0.195	0.195
2-2	4	2.423	0.154	0.9992	3.997	1.698	883.8	75	0.144	0.339
2-2	5.5	2.423	0.196	0.9992	5.096	1.099	761.5	75	0.108	0.447
3	20.7	2.423	0.781	0.9648	19.585	14.489	758.9	75	1.432	1.879
4	24.3	2.423	0.919	0.9484	22.667	3.082	760.2	75	0.304	2.183
5	29.5	2.423	1.119	0.922	26.83	4.163	760.5	75	0.411	2.594
6	34	2.423	1.308	0.897	30.857	4.027	775.1	75	0.390	2.984
6	45.1	2.423	1.735	0.832	37.523	6.666	18.28	75	27.350	30.334

3.2.6 施工参数

1) 选用材质优良并能满足设计要求的新鲜松木, 桩头应用器械削尖, 端头做成楔型, 以便于桩身入土。桩头以铁丝箍匝牢固, 以防锤击时锤击端损坏。

2) 采用挖机沉桩、人工辅助的施工方法, 保证桩体垂直进入。

3) 沉桩后, 清除浮土, 锯平桩头, 然后铺设 20 cm 的碎石灌沙褥垫层。

4) 每次锤击最后的贯入度取 0.5 cm。为了达到设计时所定的最后贯入度, 以桩总数的 10% 作为复核重打。

4 加固效果

沉降观测共设置 8 个点, 沉降观测情况见表 4, 表中反映平均沉降为 26.6 mm, 差异沉降为 6 mm, 竣工时倾斜率观测表明, 最大倾斜率仅为 0.013%, 沉降量和倾斜率都在规范的允许范围内, 满足了地基变形控制的要求。另外该工程 2005 年 3 月竣工两年多以来, 未出现结构裂缝, 基础保持稳定。

表 4 沉降观测结果 mm

沉降 阶段	沉 降 量								差异 沉降	平均 沉降
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1层	2	3	3	1	2	3	2	2	2	2.3
2层	6	8	9	4	5	18	7	7	3	6.8
3层	13	17	17	14	16	16	15	15	4	15.4
4层	18	22	22	18	21	21	19	20	4	20.1
5层	23	27	29	23	26	26	25	25	6	25.8
竣工	23	29	29	23	27	27	26	26	7	26.6

5 结 论

1) 木桩处理桩基质量事故具有施工工艺简单、处理效果明显、材料来源广泛、施工速度快、工程造价省等优点, 本工程实例中结构和地基变形的观测表明, 木桩对地基加固效果良好, 具有一定的推广应用价值。

2) 桩基质量事故加固设计和施工必须根据场地土特点, 在掌握土层和土质的情况下, 通过对承载力要求、沉降要求、投资、工期、施工难易程度、施工现场条件等多方面的比较, 合理地选择地基处理方案。

参 考 文 献

- [1] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] JGJ 94—94 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [3] GB 50005—2003 木结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [5] 龚晓南. 复合地基[M]. 杭州: 浙江大学出版社 1992.

收稿日期: 2009-11-13