

预应力管桩的作用机理及其在软土地基中的应用

高 华

· (江苏省交通科学研究院 南京 210017)

摘 要 本文通过预应力管桩对桩间土的挤密加固、摩擦作用及重固结效应进行了分析,并对如何合理确定管桩单桩承载力进行了探讨。同时结合预应力管桩在高速公路软土地基中的应用,分析了管桩的实际单桩承载力高于其根据地质勘探资料所得的单桩承载力的原因以及管桩选用方面需要注意的问题。

关键词 预应力 管桩 承载力 软基

1 概述

预应力管桩是一种新型基桩,是由专业厂家采用先张法预应力工艺和离心成型,蒸汽养护而成,是一种细长空心等截面预制混凝土构件。

它具有以下特点:

- (1)单桩承载力高;
- (2)设计选用范围广;
- (3)对不同地质条件和不同沉桩工艺适应性强;
- (4)成桩长度不受施工机械的限制;
- (5)施工速度快、工效高、工期短;
- (6)桩身强度高、耐打,穿透力强;
- (7)抗弯性能良好;
- (8)成批生产,质量稳定可靠,现场文明及制作方便,施工速度快。

这几年已越来越受到工程界技术人员和建设业主的欢迎,在高速公路和工业与民用建筑等建设领域发展迅猛。

我国虽然颁布了预应力管桩的生产制作标准《先张法预应力混凝土管桩》(GBJ13476—1999)、建材行业标准《先张法预应力混凝土薄壁管桩》(JC888—2001),江苏省于2002年制定了《先张法预应力混凝土管桩图集(苏G03—2002)》,但关于管桩的勘察设计和施工方面,国家目前尚无统一的规范。广东于1998年制定了广东省标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》,但该标准主要是针对珠江三

角洲地区基岩埋深浅,风化严重,风化层较厚且采用还击贯入法施工的管桩而制定的。江苏沿海地区多为深厚淤泥层土质,两者土质情况相差太大,因而无法参照使用。因此目前广大技术人员在软土地基中设计管桩基础时因无国家规范可执行,仍是根据实际工作经验进行设计。笔者参与设计的江苏沿海某高速公路是我国典型的沿海软土地基区域,设计中对部分高含水量、高压缩性的软土路段的特殊路基处理方案采用先张预应力混凝土薄壁管桩(PTC)进行试验路段研究。

2 预应力管桩的作用机理及单桩承载力分析

初始受荷桩身上部产生垂直应力和弹性变形,并向桩身下部传递,自上而下逐步建立摩阻力,桩身处于弹性压缩阶段。随着荷载增加,当桩身垂直应力传递到桩端时,桩端土逐步压缩,桩土相对变形加大,桩侧摩阻力进一步发挥。在加荷载最后阶段,随着桩端阻力的不断增加,桩顶部位侧阻力首先达到极限(摩阻力趋于定值)并向下逐步扩大极限阻力的分布范围,在此过程中对应于荷载增量,作为抗力的摩阻力增量所占比例愈来愈小,而桩端阻力增量所占的比例则愈来愈大,最终导致桩端土出现塑性区并迅速扩展,桩因急剧下沉而失效,桩向土的刺入破坏先于桩身强度破坏为其主要破坏特征。

根据桩的受力特性和破坏特征,其受力破坏机制是因桩身强度大于桩身应力,桩对土的刺入破坏

先于桩身强度破坏,称为刚性桩及刚性桩复合地基。管桩设计的关键是竖向单桩承载力的确定。广东王离高级工程师提出管桩的竖向单桩承载力标准 R_k 的计算:

$$R_k = 100N A_p + U \sum q_{oi} L_i \quad (1)$$

式中: N ——桩端处强风化的标贯值;

A_p ——桩尖(封口)投影面积;

U_p ——管桩桩身外周长;

L_i ——各土层划分的各段桩长;

q_{oi} ——桩周土的磨擦力标准值。

该公式仅适用于桩尖进入强风化层的锤击贯入法施工的管桩,对软土地基中以磨擦为主的桩并不适用。因此传统的设计手法仍然按《建筑桩基技术规范(JGJ94—94)》规范提供的土的物理指标和承载力参数之间的经验关系确定单桩承载力:

$$q_{uk} = u \sum q_{oi} L_i + q_{pk} A_p \quad (2)$$

式中: U ——桩身周边长度;

q_{pk} , q_{oi} ——桩端端阻力,桩侧阻力特征值,由当地静载荷试验结果统计分析算得;

L_i ——第 i 层岩土层的厚度;

A_p ——桩底端横截面积。

从现有试验资料分析,预应力管桩根据设计计算出来的单桩承载力标准值远低于单桩静载试验得到的数值。预应力管桩单桩承载力提高的原因如下。

(1) 强大的锤击力将预应力管桩强行打入强度较高的强风化岩层或密实的砂层内,在受外力冲击波和动应力时,使桩尖附近的持力层发生剧烈的挤压加固作用,其地基承载力比原状时有较大的提高。

(2) 由于软土地基上部存在一定厚度的淤泥层,而淤泥对管桩的阻力影响较小,锤击冲击力直接作用在桩端土体,不产生无效功,其锤击能量向下面土层传递动应力和压缩波、剪切波,层层向下挤压,使桩端土的反力和锤击冲击作用形成一对作用力和反作用力的恒等关系。

(3) 预应力管桩大多数采用开口桩尖,桩端土不断地被挤入桩腔内,土挤力与桩壁摩擦力达到平衡后形成土塞效应,可以提高其承载能力。

3 某高速公路预应力管桩复合地基的应用

根据某高速公路工程地质勘察的主要成果,本项目沿线的软土地基主要工程特性:

(1) 全线软土层埋深较浅,层厚较大,2-2层软土为淤泥或淤泥质(亚)粘土,流塑状,距离地表1.6~2.5m,最大层厚为14.0m;2-3层软土呈软塑

~流塑状态,全线间断分布,埋深较深,一般在2-2层以下,层厚0.50~7.0m。

(2) 软土的含水量较大,全线2-2层软土的最大含水量为89%,平均含水量65.63%。

(3) 软土层的力学指标较差,快剪试验内聚力 C 为0~19kPa,平均值为9.0kPa,内摩擦角 Φ 为1.1~13.2度,平均值为2.3度。且软土层表现为高压缩性,孔隙比最大值为2.396,最大压缩模量为2.56MPa。

此高速公路特殊路基处理方案经过多次专题研究论证,主要采用砂垫层预压、粉喷桩及浆喷桩等复合地基处理方案。但由于本地区软土具有高含水量、大孔隙比、高压缩性、低内聚力和内摩擦角的特点,目前处理方案对地基承载力提高有限,一般只有2~3倍,最大不超过150kPa,同时部分路段即便采用复合地基处理后,地基总沉降量仍然很大,部分路段处理后的总沉降介于1.0~1.5m之间,由于地基含水量大成桩困难,因土体自身特性及处理深度大,桩基施工过程中容易出现断桩、缩颈现象,且施工技术要求高,成桩质量不易检测;此外,对部分填土高度较高的路段在采用复合地基处理后配以等超载预压,需要占用更多的土地资源。因此设计中对部分高含水量、高压缩性的软土路段的特殊路基处理方案采用预应力管桩(PTC)进行试验处理。

此高速公路 K31+759~K32+924 段软土层由2-2及2-3两层软土层构成,2-2层软土层埋深2m,层厚约11.65~13.8m,含水量介于55~68.2%之间。2-3层软土层厚4.7~6.8m。2-3层下为承载力较好的4-5A层,容许承载力在180~210kPa,可作为管桩的持力层。因此本次试验方案研究选择该段某河北桥头段(K32+759.6~K32+924.2)作为预应力管桩的试验研究对象。按照桥头段和过渡段设置两种桩距进行试验研究。

按如下的方式来进行刚性桩复合地基的设计:根据软土的最大埋深和土的物理力学特性指标,选用PTC型预应力混凝土空心管桩,采用正方形布桩,桩长按照软土的埋深考虑,桩长的选择以打穿透软土层进入持力层1~2m为宜,即桩长24m(单节桩长度为6~12m,采用焊接法接桩),桩径与桩长的比值按1%考虑,因此取桩径为40cm,壁厚7.0mm,初定桩距为3.0、3.5m两种,已超过6倍的桩径,因此为疏桩基础,可单桩进行计算。为让桩尽可能多的承担荷载,在桩的顶部增设桩帽,当采用3.0m间距的PTC管桩,桩帽采用尺寸为1.4m×1.4m×

0.3m的桩帽,当采用3.5m间距时桩帽采用尺寸为 $1.6 \times 1.6 \times 0.4$ m桩帽。同时为充分发挥桩土共同工作,在上部设置40cm的碎石垫层,为加强垫层的整体刚度,在垫层中间铺一层中钢塑双向土工格栅,土工格栅经、纬双向张拉力标准值 $N > 80 \text{ kN/m}$,延伸率 $< 10\%$ 。从而形成桩网垫层复合地基。设计方案如图1所示。

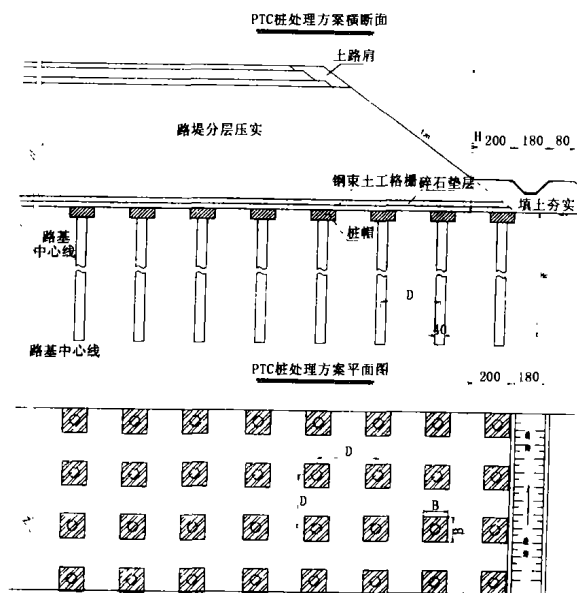


图1 PTC管桩路基处理布置图

4 PIC管桩处理地基试验及分析

为了检验管桩复合地基加固软土地基的效果,并对其进行全面的评价分析,选择了2根预应力管桩及1组复合地基进行静载荷试验。

4.1 试验设备和试验方法

(1) 试验设备

本次试验采用堆载能力为5000kN的钢梁组合架一副,砼承重梁4根,QW-320型手动油压千斤顶两只,0~100mm位移计四只,0~60MPa精密压力表一只,基准梁一副。

(2) 试验方法

采用慢速维持荷载法,加载用手动油压千斤顶,测力用压力表,依据率定曲线确定各级荷载值的大小,测沉降用位移计,测量数据由人工记录。

4.2 试验结果

(1) 地基沉降效果检测

为了检验管桩复合地基加固软土地基的效果,并对其进行全面的评价分析,可通过选择2根预应力管桩及1组复合地基进行静载荷试验结果对其验证。静载试验采用快速维持堆载法,对单桩、复合低地基根据桩间距不同分别采用0.55m、1.0m、1.2m、

1.3m的圆形荷载板,试压荷重用油压千斤顶施加,沉降用千分表测读。静载荷试验根据管桩的复合地基试验,按试验对象可分为单桩与复合地基试验。

在桩顶施加了竖向静荷载后,桩土间出现了位移,桩身上部便出现了应力和压缩变形,继续增加荷载,桩土间的位移进一步加大,桩身的应力进一步往下发展,桩身下部的侧阻力也逐渐发挥出来。继续往桩上增加更大的荷载,在桩底处就会出现压缩变形和土反力。桩底土的压缩变形使桩土间的位移变得更大,侧阻力也得到了进一步的发挥。通过堆重、锚桩或堆重、锚桩联合反力装置在桩顶施加静荷载,荷载加载分级进行,读取每级荷载下的桩顶沉降量,每级荷载稳定后加下一级荷载。当地基破坏、桩持续下沉而不能稳定或达到反力装置所能提供的最大加载量时终止加载。

(2) 地基承载力检测

不同里程静载试验统计结果见表1,从表1看出,经预应力管桩加固后,复合地基承载力明显地提高。不同的土层,不同的桩径、桩长,复合地基承载和提高情况有所不同。从统计资料可以看出,软土地基采用预应力管桩加固后,复合地基承载力 $> 300 \text{ kPa}$,预应力管桩的单桩竖向极限承载力达 $> 1200 \text{ kN}$,满足设计要求。

表1 不同路段典型桩静载试验结果统计表

检测路段序号	原土基承载力 (KPa)	单桩竖向极限承载力 (kN)	复合地基极限承载力 (KPa)
1	100	1500	300
2	90	1600	350
3	85	1580	310
4	80	1590	330
5	95	1600	350
6	100	1610	380
7	90	1590	300
8	90	1580	300

5 结束语

管桩以其桩身质量可靠、适应性强等优点,在软土地基中正逐步得到推广使用,已越来越受到欢迎和接受。但由于管桩的应用时间不长,在勘察、设计、施工、监理等方面还存着不少急待解决的问题,还需要通过大量工程实践来分析,积累和总结预应力管桩的应用经验,提高预应力管桩应用的技术水平。