

50-54

深层搅拌法加固软土地基

TU 447

代国忠

(长春工业高等专科学校·长春·130021)

结合天津市审计署宿舍楼地基加固的工程实例,较详细地介绍了水泥土深层搅拌桩的设计计算及施工技术。

关键词 软土地基, 深层搅拌, 复合地基

地基处理



勘察施工

深层搅拌法是用以加固饱和软粘土地基的一种新方法,利用水泥(或石灰)等材料作为固化剂,通过深层搅拌机在地基一定深度范围内,就地将软土与固化剂(浆液或粉剂)强制地搅拌在一起,使其产生一系列的物理化学反应,最终形成了抗压强度比原状土高得多并具有整体性、水稳性的桩柱体,若干根桩柱体和桩周土就构成了建筑物的复合地基。

自八十年代以来,我国各科研单位与施工单位密切合作,研制出了各种类型的深层搅拌机械,如SJB型、GZB-600型、DJB-14D型等,并先后在上海、江苏、浙江、天津等地区得到了推广应用,较好地解决了沿海一带的软弱地基加固问题。本文仅通过对天津市审计署宿舍楼软土地基采用水泥土深层搅拌桩处理的工程实例,介绍其设计计算及施工技术。

1 工程概况

天津市审计署宿舍楼地上6层,楼高(从地面±0.00)20 m,占地面积699.2 m²,采用砖混框架结构,片筏基础,基础埋深为2.20 m,基础荷载为110 kPa。拟建工程的天然地基承载力达不到设计要求,必须进行地基加

固处理,处理后的复合地基承载力为160 kPa。地层自上而下分层情况是:

(1)杂填土,埋深0 m~0.7 m,由建筑垃圾、三合土组成,松散状态;

(2)素填土,埋深0.7 m~4.2 m,由粉质粘土及淤泥质粉土组成,软~可塑状态,承载力标准值 $f_k = 80$ kPa;

(3)粉质粘土,埋深4.2 m~6.2 m,局部夹淤泥透境体,属坑底淤积物,软~软可塑状态, $f_k = 80$ kPa;

(4)粉质粘土,埋深6.2 m~7.7 m,以砂性大的粉质土为主,软~可塑状态, $f_k = 90$ kPa;

(5)粉质粘土,埋深7.7 m~9.9 m,分布稳定,软~可塑状态, $f_k = 120$ kPa;

(6)粉质粘土,埋深9.9 m~11.9 m,土质稳定,中密状态, $f_k = 140$ kPa;

(7)粉土,埋深11.9 m~14.5 m,局部夹粉质粘土透境体,中密状态, $f_k = 130$ kPa;

(8)粉质粘土,埋深14.5 m~19.5 m,软可塑状态, $f_k = 120$ kPa;

(9)粉土,厚度大,局部夹粉质粘土,砂性较大,可塑状态, $f_k = 140$ kPa。

2 深层搅拌桩的设计计算

2.1 单桩几何尺寸确定

根据《工程地质勘察报告》可选择承载力

本文1996年7月收到,王梅编辑。

较大的(5)~(3)层粉质粘土作为搅拌桩的持力层,桩端进入持力层0.3 m,则桩端埋深为10.2 m,扣除基础埋深2.2 m及砂垫层0.5 m,实际桩长为7.5 m。

采用DJB-14D单头深层搅拌机成桩,其单桩桩径为 $\phi 500$ mm,桩截面积为0.196 m²,桩周长为1.57 m。

2.2 单桩承载力的确定

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91)及《软土地基深层搅拌加固法技术规程》(YBJ225-91)中有关规定:

$$R_k^d = \bar{q}_s U_p L + \alpha A_p f_k \quad (1)$$

式中: R_k^d —搅拌桩单桩竖向承载力标准值,kN; \bar{q}_s —桩周土的平均摩阻力,12 kPa; U_p —桩周长,1.57 m; L —桩长,7.5 m; α —桩端土承载力折减系数,0.5; A_p —桩的截面积,0.196 m²; f_k —桩端地基承载力标准值,140 kPa。

将各已知数据代入(1)式得:

$$\begin{aligned} R_k^d &= 12 \times 1.57 \times 7.5 + 0.5 \times 0.196 \times 140 \\ &= 155 \text{ kN} \end{aligned}$$

2.3 水泥掺入比的确定

水泥土的强度随着水泥掺入比 a_w ($a_w = \frac{\text{掺加的水泥重量}}{\text{被加固软土的湿重量}} \times 100\%$)的增加而增大,当加入一定量的外掺剂时,其强度还有所提高。设计时先由单桩承载力确定出水泥土的强度,然后通过室内试验确定水泥掺入比 a_w 。

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (2)$$

式中: $f_{cu,k}$ 为与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块(边长70.7 mm或50 mm的立方体,90天龄期)的无侧限抗压强度平均值; η 为强度折减系数,一般可取0.35~0.50。

将各已知数据代入(2)式可计算出:

$$\begin{aligned} f_{cu,k} &= \frac{R_k^d}{\eta \cdot A_p} \\ &= \frac{155}{0.35 \times 0.196} = 2259 \text{ kPa} \end{aligned}$$

通过室内水泥土的无侧限抗压强度试验,最后确定水泥掺入比为 $a_w = 15\%$,其90天龄期的 $f_{cu,k} = 2290$ kPa,大于2259 kPa,满足了桩身水泥土强度的要求。

2.4 面积置换率的确定

根据单桩竖向承载力标准值 $R_k^d = 155$ kN,复合地基承载力标准值 $f_{sp,k} = 160$ kPa,桩间天然地基土承载力标准值(可取基础底面土层的承载力标准值) $f_{s,k} = 80$ kPa,并取桩间土承载力折减系数 $\beta = 0.55$,可计算搅拌桩的面积置换率 m :

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_{sp,k} - \beta f_{s,k}}{\frac{R_k^d}{A_p} - \beta f_{s,k}} \\ &= \frac{160 - 0.55 \times 80}{(155/0.196) - 0.55 \times 80} = 15.6\% \end{aligned}$$

2.5 桩数确定及布桩

根据基础形式,采用柱状搅拌桩,在基础范围内按等边三角形布桩,最低计算桩数为:

$$n = \frac{mA}{A_p} = \frac{0.156 \times 699.2}{0.196} = 557 \text{ 根}$$

根据天津地区经验,桩间距宜采用桩径的2.4倍,即等边三角形边长 S 为:

$$S = 2.4d = 2.4 \times 0.5 = 1.2 \text{ m}$$

根据几何关系可求得桩排距 h :

$$h = 0.866S = 0.866 \times 1.2 = 1.0 \text{ m}$$

根据基础平面尺寸(如图1),实际桩数确定如下:

2.5.1 排数确定

总排数为 $1 + (33.88 \div 1.0) = 34.88$,取35排;其中I、II区占14排,III区占21排。

2.5.2 列数确定

总列数为 $1 + (35.86 \div 1.2) \times 2 = 60.76$,取61列;其中II、III区占21列,I区占40列。

2.5.3 实际桩数确定

总桩数为 $40 \times 7 + 21 \times 7 + 21 \times 10 + 11 = 648$ 根,这大于所需的最低计算桩数557根,满足了设计要求。

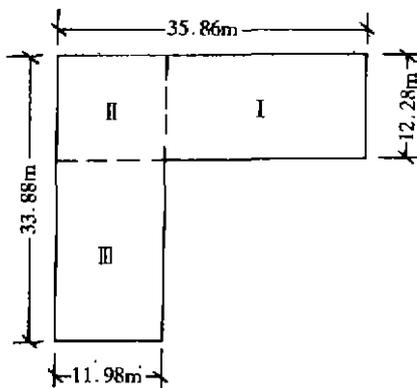


图1 基础平面尺寸

2.6 复合地基承载力的验算

本工程实际布桩后的面积置换率为:

$$m = \frac{nA_p}{A} = \frac{648 \times 0.196}{699.2} = 18.2\% > 15.6\%$$

按实际布桩情况,可计算出复合地基的承载力标准值 $f_{sp,k}$:

$$\begin{aligned} f_{sp,k} &= m \frac{R_k^d}{A_p} + \beta(1-m)f_{s,k} \\ &= 0.182 \times \frac{155}{0.196} \\ &\quad + 0.55 \times (1-0.182) \times 80 \\ &= 179.6 \text{ kPa} > 160 \text{ kPa} \end{aligned}$$

说明复合地基的承载力满足设计要求。

2.7 下卧层地基强度的验算

本工程搅拌桩的面积置换率虽然不大于20%,但因是多行排列,且分布面积较大(699.2 m²);故每根单桩不能充分发挥其承载作用,应按群桩作用原理,将搅拌桩和桩间

土假想为实体基础(如图2),进行下卧层地基强度验算。即应满足:

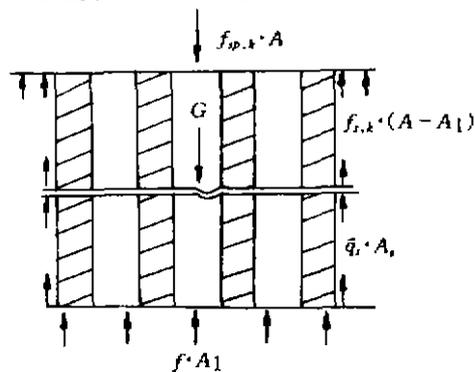


图2 搅拌桩下卧层强度验算

$$f = \frac{f_{sp,k}A + G - \bar{q}_s A_s - f_{s,k}(A - A_1)}{A_1} < f \quad (3)$$

式中: f —假想实体基础的底面压力, kPa; A —地基加固面积, 699.2 m²; G —假想实体基础自重, $G = AL\gamma = 699.2 \times 7.5$ (18.7-10) = 45622.8 kN; \bar{q}_s —作用在假想实体基础侧壁上的平均摩阻力, 12 kPa; A_s —假想实体基础侧表面积, $A_s = (33.88 + 35.86) \times 2 \times 7.5 = 1046$ m²; A_1 —假想实体基础底面积, 699.2 m²; f —假想实体基础底面经修正后的地基土承载力设计值, 按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89), $f = f_k + \eta_b \nu (B-3) + \eta_d \nu_0 (L'-0.5) = 140 + 1.1 \times (18.7-10) \times (10.2-0.5) + 0 = 232.8$ kPa

将以上各已知数据代入(3)式计算得:

$$\begin{aligned} f &= \frac{179.6 \times 699.2 + 45622.8 - 12 \times 1046 - 80 \times (699.2 - 699.2)}{699.2} \\ &= 226.8 \text{ kPa} < 232.8 \text{ kPa} \end{aligned}$$

这说明搅拌桩下卧层的强度满足要求。

2.8 沉降变形验算

宿舍楼允许的总沉降量 S 为 260 mm。水泥土搅拌桩复合地基变形 S 的计算, 包括搅拌桩群体的压缩变形 S_1 和桩端下未加固土层的压缩变形 S_2 之和。经计算 $S_1 = 23.8$ mm, $S_2 = 59$ mm, 则:

$$S = S_1 + S_2 = 23.8 + 59 = 82.8 \text{ mm} < 260 \text{ mm}$$

由此说明沉降变形满足要求, 限于篇幅, 计算过程从略。

3 深层搅拌桩施工技术

3.1 施工工艺流程

将 DJB-14D 深层搅拌机移到桩位, 定

位对正后开机工作,将配制好的水泥浆用UBJ₂型挤压泵送到桩机头,喷浆后下沉并钻进,边钻进边喷浆边搅拌,三者融为一体。钻进喷浆到设计深度后,原地旋转约30s,停止喷浆,然后反转提升搅拌,直到地面;再向下钻进喷浆搅拌至桩底,停止喷浆;反转重复搅拌提升至地面,完成一根搅拌桩。即本工程采用二次喷浆四次搅拌成桩的工艺方法,其施工流程如图3。

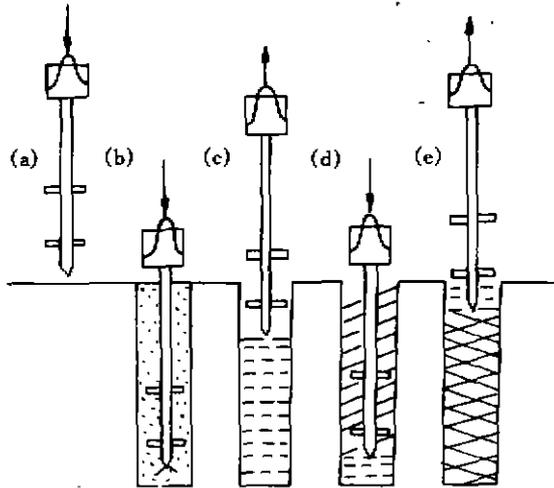


图3 深层搅拌成桩工艺流程

(a)一桩机定位;(b)一喷浆搅拌下沉;(c)一提升搅拌;(d)一重复喷浆搅拌下沉;(e)一重复提升搅拌,桩完成

3.2 搅拌桩浆液的计算

固化剂选用425号矿渣硅酸盐水泥,水泥掺入量为湿土容重($\rho = 1870 \text{ kg/m}^3$)的15%,水灰比为0.50。外掺剂为水泥重的1%,其中的配方是减水剂(木质素磺酸钙)、早强剂(三乙醇胺及食盐)各占水泥重的0.1%、0.2%、0.7%。

为了保证桩头质量和一定的安全贮备,搅拌时距桩顶设计标高1.0m处开始喷浆,至桩底标高以下1.0m处停止喷浆,则搅拌桩实际长度为 $H = 9.5 \text{ m}$,每根桩实际所需的水泥掺入量为:

$$\begin{aligned} W &= \frac{\pi}{4} d^2 H a_w \rho \\ &= \frac{\pi}{4} 0.5^2 \times 9.5 \times 0.15 \times 1870 \end{aligned}$$

$$= 523 \text{ kg}$$

$$\text{加水量: } 0.5 \times 523 = 261.5 \text{ kg}$$

$$\text{外加剂量: } 0.01 \times 523 = 5.23 \text{ kg}$$

若取水泥容重 $\rho_c = 3.0 \text{ kg/l}$,外加剂容重 $\rho_x = 1.6 \text{ kg/l}$,水的容重 $\rho_w = 1 \text{ kg/l}$,则可算出每根搅拌桩所需的水泥浆体积为:

$$V = \frac{523}{3.0} + \frac{261.5}{1} + \frac{5.23}{1.6} = 440 \text{ l}$$

3.3 制桩工艺参数

3.3.1 泵量及泵压

UBJ₂型灰浆泵的额定泵量是33 l/min,灰浆泵的工作压力为1.5 MPa,考虑沿程管路损失,搅拌头喷浆口处的喷浆压力可控制在0.7 MPa~0.8 MPa。

3.3.2 搅拌头下沉速度

施工时泵量一定,要保证水泥掺入比达到15%,必须控制好喷浆搅拌工序的搅拌头下沉速度,即应满足:

$$v_1 = \frac{\gamma_c Q}{A_p \gamma_0 a_w (1 + \lambda)} \quad (4)$$

式中: v_1 —搅拌头下沉速度,如采用二次喷浆作业, v_1 可加倍(m/min); Q —泵量,0.033 m³/min; γ_c —水泥浆重度,18 kN/m³; γ_0 —土的重度,18.7 kN/m³; λ —水灰比,0.50。

将各已知数据代入(4)式得:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{18 \times 0.033}{0.196 \times 18.7 \times 0.15 \times (1 + 0.5)} \\ &= 0.72 \text{ m/min} \end{aligned}$$

因采用二次喷浆作业,施工时搅拌头下沉速度控制在1.0 m/min~1.2 m/min,搅拌头提升速度与下沉速度相近。

3.3.3 搅拌头转速

对于粉质粘土要求搅拌头外缘线速度控制在1.5 m/s~2.0 m/s,则其转速为:

$$n = \frac{60V}{\pi D} = \frac{60 \times 1.5}{3.14 \times 0.5} = 57.3 \text{ r/min}$$

实际施工时搅拌轴的转速为60 r/min,基本满足了要求。

3.3.4 钻进压力

搅拌头下沉时,利用钻具自重加压,并用

卷扬机控制下沉与提升速度。

本工程结束后, 经对复合地基承载试验及桩身取芯检验, 认为施工质量良好, 达到了设计要求。

4 几点体会

(1) 水泥土搅拌法由于是将固化剂和原地软土就地搅拌混合成桩, 因而最大限度地利用了原土, 是软弱地基处理的较好方法。

(2) 制桩时挤土量很小, 浆液不溢出, 对周围原有建筑物的影响很小。

(3) 设计简单, 可按照不同地基土的性质及工程设计要求, 合理选择固化剂及其掺入比。

(4) 土体加固后重度基本不变, 不会对软弱下卧层产生附加沉降。

(5) 根据上部结构的需要, 可灵活地采用柱状、壁状、格栅状和块状等加固形式, 即搅拌桩之间可相互重叠, 以增大地基强度。

(6) 可通过调整喷浆搅拌作业时间及喷浆量来控制水泥土掺入比及桩身强度。

(7) 在含水量大的饱和软土地基中, 可往水泥浆里掺入一定量的粉煤灰, 提高水泥土的强度。

(8) 目前国内深层搅拌桩的桩径及桩长有待进一步提高, 这就需要研制出大功率的搅拌机, 来增加单桩的处理面积及处理地基的深度。

DESIGN AND TECHNIQUE OF REINFORCING SOFT SOIL FOUNDATIONS BY DEEP STIRRING

Dai Guozhong

Design and technology of cement soil mixing piles were introduced in detail, with a actual foundation reinforcement engineering of the audit office resident house in Tian Jin.

Key words deep stirring, soft foundation

广告编号: 9705-1



新一代给水离心泵

ISG型单级单吸立式离心泵

符合行家对国际标准的需求

●设计新概念, 设计新突破 ●采用ISO2858国际标准及 JB/T53058-93国家标准设计制造 ●无振动, 低噪音, 节约泵房投资

●主要用于工业、城市给排水、高层建筑水箱增压送水、园林喷灌、消防用泵、暖通、制冷设备循环用水、锅炉给排水设备配套, 冶金、化工、纺织、木材加工、造纸、油田、炼油、医药、卫生、食品等工业行业工艺流程中使用, 饭店、宾馆、车站、码头、浴室等公共场合远距离输水及高温热水增压循环。

| 口径及口径 | 口径 | 流量范围 | 扬程范围 | 电机功率 | 泵材料 | 用途介绍 | 介质温度 |
|-------------|------------|--------------|------------|------------|-----------|-----------------|---------|
| ISG型立式单吸离心泵 | [5~500mm] | 1.5~1200m³/h | 8~125m | 0.18~220KW | 铸 铁 | 长寿命节能型立式离心泵 | 不超过80℃ |
| ISG型立式单吸离心泵 | [5~500mm] | 1.5~1200m³/h | 8~125m | 0.18~220KW | 铸 铁 | 以 | 不超过120℃ |
| ISG型立式单吸离心泵 | [5~300mm] | 1.5~1080m³/h | 8~125m | 0.18~160KW | 不 锈 钢 | 适用于化工、医药、食品等行业 | 不超过100℃ |
| ISG型立式单吸离心泵 | [5~300mm] | 1.5~1080m³/h | 8~125m | 0.18~160KW | 铸 铁 | 由成易拆易装液体 | 不超过120℃ |
| ISG型立式单吸离心泵 | [5~300mm] | 1.5~1080m³/h | 8~125m | 0.18~160KW | 铸 钢、不 锈 钢 | 高 温 度 液 体 | 不超过185℃ |
| ISG型立式单吸离心泵 | [40~300mm] | 0.3~1080m³/h | [2.5~125m] | 0.37~160KW | 铸 铁、不 锈 钢 | 水 气 化 学 药 剂 液 体 | 不超过100℃ |

并生产 ISG型离心泵、立式立式多级泵、40型潜水排污泵、V型潜水污水泵、ZB型自吸无堵塞排污泵、118型浓浆泵、40型齿轮油泵、CG型磁力驱动泵、45Y型气动隔膜泵、DBY型电动隔膜泵。



上海博华泵业制造有限公司

地址: 上海市中山西路113号 电话: (021) 66229166 66229168 66229169 传真: (021) 66229168 邮编: 200031

