

复杂地质条件下粉煤灰混凝土桩与石灰桩的联合设计法

林永汉

(惠州市惠城区建筑工程质量监督站 广东惠州 516001)

1 前言

近年由于工程建设的高速发展,填海、填湖造地等情况非常普遍,回填往往是在水未排干且软土未挖除的情形下进行的,于是形成了深厚软粘土上覆新回填土的特殊地质条件,在此类复杂的场地上建造建(构)筑物,必须对地基进行处理。由于软粘土和新回填土工程性质极差,属于建(构)筑物的严重不良地基,必须采用特殊的办法进行处理。

对于饱和软粘土,可选择多种方法进行地基处理,如预压法、砂石桩法、水泥粉煤灰碎石桩法(CFG桩法)、水泥土搅拌法、石灰桩法等;对于新回填土,则可采用振冲法、强夯法、强夯置换法、石灰桩法等。具体选择哪种方法,需根据建筑物对地基承载力及变形要求,同时考虑经济性及施工可行性。

2 粉煤灰混凝土桩的特性

它与水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)^[1]同属高粘结强度桩,后者是中国建筑科学研究院地基所的专利技术,已被编入《建筑地基处理技术规范》(修订稿)中。两者虽桩身材料不同,但桩身强度却接近,因此其受力和变形特性是相近似的。

CFG桩由水泥、粉煤灰、碎石和石屑组成,其中碎石为粗骨料,石屑为中等粒径骨粉,粉煤灰既是细骨料又有低标号水泥的作用,粉煤灰混凝土则由粉煤灰、碎石、中粗砂和水泥组成。由于CFG桩通常采用沉管灌注桩的施工工

艺,也有采用泥浆护壁钻孔灌注桩或长螺旋钻孔压灌工艺。为了在软土地区施工粉煤灰混凝土桩,一般采用钻孔压灌工艺,必须使混凝土坍落度达到140~180mm,且碎石最大粒径宜为1~3cm,为保证桩身强度和降低成本,掺入35%~45%中粗砂作为细骨料,粉煤灰不但可降低成本,而且可使桩体具有明显的后期强度。

粉煤灰混凝土桩和桩间土一起通过铺设在其上的褥垫层形成复合地基,其承载力提高具有很大的可调性,且沉降变形小,造价低,施工简单,具有明显的经济和社会效益。

由于其桩身强度较高,在软土地区施工该类复合地基比其他柔性桩复合地基如石灰桩、水泥土桩复合地基等可获得更高的承载力,因而在软土地区具有广阔的应用前景。

粉煤灰混凝土桩若采用长螺旋钻孔压灌工艺,则对桩间土有一定的挤密作用,桩侧摩阻力比泥浆护壁钻孔灌注工艺要高。

3 石灰桩法

这是指将生石灰块(或粉)和粉煤灰(或煤渣、矿渣等掺合粉)按一定比例混合后灌入地基中所形成的桩,该桩法已列入《建筑地基处理技术规范》(修订稿)中。作为一种加固软土的快速、经济、有效的地基处理方法,它较多地应用于加固淤泥、淤泥质土、一般粘性土以及地下水位以上的粉质粘土和粉土,均可取得较好的加固效果。

石灰桩法由于其独特的作用机理,使得对加固新回填土具有特别好的技术效果,且可取得显著的经济效益^[2]。

石灰桩的作用机理^[3]如下:(1)加固层的减载:由于生石灰吸水后产生很大的膨胀力,因此桩间土能得到较好的挤密效果,另由于生石灰与掺合料的干密度小于土的饱和密度,因此可减轻加固重量;(2)排水固结:石灰桩可视为软土中的砂井,由于生石灰大量吸水,而石灰桩桩距又较小,水平排水路径很短,因此桩间土能较好地排水固结;(3)水下硬化:石灰在水下也能与掺合料发生化学反应,生成较高强度的水化物;(4)桩体置换:石灰桩桩体强度通常在300~450kPa之间,通常可分担35%~60%的荷载。

由于以上机理,采用石灰桩加固新回填土时,可有效地挤密桩间土,加速土体固结,大幅提高地基承载力和减小沉降,因此它可以说是加固新回填土的最有效的方法之一。

4 粉煤灰混凝土桩与石灰桩的联合设计法

尽管粉煤灰混凝土桩处理软土具有承载力高,变形小且造价低等优点,但用于欠固结的新回填土则应慎重。这是由于新填土承载力低,固结沉降大且对桩产生较大的负摩擦力,因此对该类地质条件不宜单独使用粉煤灰混凝土桩或其他桩型。石灰桩因桩体强度不高,故其复合地基承载力也不太高(通常为120~160kPa),因此在此类场地下是很难获得200kPa以上承载力的。

在某些情况下,综合采用多种地基处理方法可形成多元复合地基^[4]。对本文提及的场地条件,采用粉煤灰混凝土桩、石灰桩及桩间土形成三元复合地基,可充分利用粉煤灰混凝土桩桩身强度较高和石灰桩可有效加固新回填土的特性,既可获得较高的复合地基承载力,又能快速使新回填土固结,从而对该类复杂地基能产生较好的处理效果,经济效益也很显著。

该复合地基承载力可采用以下公式计算:

$$f_{sp,k} = \frac{R_d}{A_p} + \beta [m_2 f_{pk} + \alpha (1 - m_1 - m_2) f_{sk}] \quad (1)$$

式中 $f_{sp,k}$ 为复合地基承载力(kPa); f_{pk} 为石灰桩的桩身强度,可取300~450kPa; A_p 为粉煤灰混凝土桩单桩截面积(m^2); m_1 、 m_2 分别为粉煤灰混凝土桩和石灰桩的面积置换率; α 为因石灰桩和粉煤灰混凝土桩挤密后的地基强度提高系数; β 为桩间土强度发挥系数,宜取0.9~1.0,对变形要求高的建筑物可取低值; R_d 为粉煤灰混凝土桩单桩承载力(kN),可取以下两式中的较小值,即:

$$R_d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (2)$$

$$R_d = (U_p q_{sik} l_i + q_{pk} A_p) / \gamma_{sp} \quad (3)$$

式中: η 为强度折减系数,取0.30~0.33; $f_{cu,k}$ 为桩体150mm立方体试块的28d强度(kPa); U_p 为桩的周长(m); q_{sik} 为桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值(kPa); l_i 为*i*层土的厚度(m); q_{pk} 为桩的极端阻力标准值(kPa); γ_{sp} 为调整系数,宜取1.5~1.6。

若粉煤灰混凝土桩采用泥浆护壁钻孔或沉管灌注工艺,则可直接在《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)中查表得到 q_{sik} 与 q_{pk} 值。

目前在软土地区一般采用钻孔压灌工艺施工粉煤灰混凝土桩,若用长螺旋钻孔,则在规范中可选用干作业钻孔桩的经验参数。但考虑到钻孔和灌注的挤土效应,结合软土地区的工程经验,可将此经验参数取值适当提高,侧阻力可提高10%,特别是表层回填土经石灰桩挤密后承载力和抗剪强度均得到提高,对粉煤灰混凝土桩产生较大的侧摩阻力,设计时应予以考虑,这样才可降低工程造价和具有较好的经济效益。

粉煤灰混凝土桩的桩径为350~600mm,桩距宜取3~6*d* (*d* 为桩径),采用沉管工艺在饱和粘性土中挤土成桩时宜 $\leq 4d$; 桩端应进入较好的土层; 桩身强度按 ≤ 3 倍桩顶应力确定; 褥垫层厚度一般为100~300mm,桩径、桩距较大时其厚度宜取高值,材料宜选用粗砂、中砂、级配砂石,碎石的最大粒径不宜 $> 30mm$ 。

石灰桩的桩径为300~400mm; 桩距为2~3*d*,加固新回填土时可 $< 2d$; 桩长根据建筑物对

地基的要求及经济性来确定;桩身材料配比采用生石灰:粉煤灰=1:2(体积比),加固回填土时为获得较好的桩间土挤密效果,可采用1:1.5或1:1。

对于砖混结构,粉煤灰混凝土桩通常沿墙轴线单排布桩,桩径350~400mm,桩间距1.2~1.6m;石灰桩通常在条基两侧对称布置,桩径300mm,横向间距600~900mm,纵向间距1.2~1.6m,以保证两种桩大致均匀分布。若为桩下独立基础或筏基、箱基等,则桩距由式(1)求出置换率后分别确定,尽量做到均匀布桩。

5 工程实例

惠州市桥西办事处在三栋镇工业园区内兴建4层框架厂房,建筑面积18958m²。该区回填土时间不足半年,属新回填土,即严重欠固结土。根据工程地质勘察报告,自地表往下依次为填土(厚0.3~5.2m),淤泥(厚1.0~1.5m $f_k=45\text{kPa}$),淤泥质土(厚2.0~3.0m $f_k=70\text{kPa}$),粉质粘土(厚2.0~5.0m $f_k=150\text{kPa}$),粘土(未钻穿, $f_k=300\text{kPa}$)。此种地质条件下,若采用普通的桩基础,由于淤泥、淤泥质土不能提供较高的桩侧摩阻力,加之填土固结对桩会产生负摩阻力,因此造价会很高,而且效果也不一定好。

采用本文提出的粉煤灰混凝土桩与石灰桩的联合设计方法,既达到了加固该复杂地基的目的,又节约了工程造价。粉煤灰混凝土桩设计桩径350mm,采用长螺旋钻孔压灌工艺成桩,桩长约10m,进入粉土层10~30cm,单桩极限承载力标准值500kN;石灰桩桩身材料设计配比为生石灰:粉煤灰=1:1.5(体积比);设计要求复合地基承载力达250kPa。

施工完毕后的检测结果表明,单桩极限承载力为600kN,复合地基承载力为280kPa,均满足设计要求。

结构封顶时,建筑物最大沉降12mm,最大不均匀沉降0.8‰,使用1年后沉降速率降为0.01mm/d,已达到稳定。

该方案与人工挖孔桩和钻孔灌注桩相比,可节约造价分别为25%和30%。

6 结语

6.1 本文对于深厚软土上覆新回填土的地质条件,提出了粉煤灰混凝土桩与石灰桩的联合设计方法,具有较好的技术效果和经济效益。

6.2 地基处理方案的选择应因地制宜,对于某些难处理的复杂地基,应综合应用多种地基处理方法。

6.3 本文的三元复合地基设计计算公式可推广到其他三元复合地基设计中使用。

参 考 文 献

- 1 阎明永. 地基处理技术. 北京:中国环境科学出版社,1996
- 2 郑俊杰等. 加固新回填土的石灰桩法. 华中理工大学学报,1996,24(1):35~87
- 3 郑俊杰等. 石灰桩复合地基设计计算及检测方法. 华中理工大学学报,1997,25(5):91~93
- 4 郑俊杰等. 石灰桩与深层搅拌联合加固深厚软土. 岩土工程技术,1998,(2):33~34