

夯实水泥土桩法在湿陷性黄土地区的应用

吉建华

(化工部郑州地质工程勘察院,河南 郑州 450002)

摘要:介绍了湿陷性黄土的基本特性,结合工程实例,说明夯实水泥土桩法处理湿陷性黄土地基的原理、施工工艺及应用效果,提出了施工中注意的问题,为在本地区推广应用提供参考。

关键词:夯实水泥土桩法;湿陷性黄土;复合地基

中图分类号:TU472.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)02-0059-03

Application of Rammed Soil-cement Pile in Collapsible Loess Areas/Ji Jian-hua (MCI Zhengzhou Geological Engineering Investigation Institute, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: This article describes the basic characteristics of loess; and with engineering cases illustrates the mechanism, construction technology and effect on application of rammed soil-cement pile in collapsible loess foundation treatment; and provides reference for the the application in local area with the attentions in construction.

Key words: rammed soil-cement pile; collapsible loess; composite foundation

1 湿陷性黄土的基本工程特性

湿陷性黄土在我国分布广泛,基础建设中的湿陷性黄土地基,因其特有的工程特性,对建筑物危害极大。

湿陷性黄土除具备黄土的一般特性外,粒度成分以粉土颗粒为主,占 50% 以上,孔隙比较大,结构松散,具有肉眼可见的竖向针状圆孔;天然剖面上垂直节理发育,富含碳酸钙盐类,垂直大孔隙、松散多孔结构和遇水即降低或消失的土颗粒间的粘聚力是它发生湿陷的两个内部因素,而压力及水是外部条件。而湿陷性黄土具有的多孔结构是其发生湿陷的先决条件和首要因素,正是由于某些原因致使这种多孔性结构破坏才能发生湿陷。其基本工程特性有:

(1)结构的欠压密状态。黄土在天然沉降过程中,有可溶盐的结晶和薄膜水的吸附作用,使黄土在干旱气候条件下的沉积过程中处于欠压密状态。因此,在有水浸入时表现为湿陷性,这是黄土地区建筑物易受破坏的主要外因。

(2)存在湿陷起始压力。当水浸湿黄土后,由于可溶盐的胶结强度消失及水膜的嵌入作用,粘聚力急剧降低,但仍保存部分初始结构力,当外力超过该强度时,湿陷才能产生。

(3)湿陷变形速率大。受水变形速率大,但一旦停止供水后,稳定亦很快。浸水后湿陷立即开始,

停水后很快稳定,湿陷变形转化为压缩变形。

(4)受水后强度急剧降低。黄土受荷,当荷载超过湿陷初始压力后,除土体垂直压缩变形外,还同时发生大量侧向挤出。

2 工程概况

某工程位于郑州市西部,楼高 18 层,地下 1 层,基础埋深 3.5 m,平面尺寸 54 m × 13 m,基底压力 300 kPa。拟建场地地貌单元为黄河二级阶地,地形较平坦,地面绝对标高 165.5 m 左右,最大高差 0.60 m。地下水埋深 > 30 m,地震基本烈度 7 度 (0.15g)。主要土层有 5 层:表层为厚 1.0 m 的杂填土,第①层为 Q₃ 黄土状粉土,稍湿,稍密,含白色钙质条纹,有大孔隙和虫孔,含少量钙质结核,粒径 1~2 cm;第②层为 Q₃ 黄土状粉土,稍湿,稍密,含较多白色钙质条纹,可见大孔隙;第③层粉土,稍湿,中密,含白色钙质条纹。第④、⑤层为粉质粘土。

采用探井取土试验,第①层土湿陷系数 $\delta_s = 0.012 \sim 0.033$,自重湿陷系数 $\delta_{zs} < 0.015$,为非自重湿陷性土;其下各层均无湿陷性。按式 $\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{si} h_i$ 计算各勘探点总湿陷量 Δ_s ,其中 $\beta = 1.5$, $\delta_{si} < 0.015$ 土层不计。各主要土层物理力学指标及总湿陷量计算结果见表 1。

由表 1 可知,第①层黄土状粉土属非自重湿陷

收稿日期:2009-10-10; 修回日期:2009-12-31

作者简介:吉建华(1965-),男(汉族),山东曹县人,化工部郑州地质工程勘察院副总工程师、高级工程师,国家注册岩土工程师,从事工程地质、水文地质、环境地质等技术工作,河南省郑州市文化路 76 号,jjh0371@163.com。

表1 主要土层物理力学性质表

地层编号	土层名称	平均厚度 /m	湿陷系数 δ_s	总湿陷量 Δ_s /mm	含水率 w /%	孔隙比 e	压缩模量 E_{s1-2} /MPa	承载力特征值 f_{ak} /kPa
①	黄土状粉土	6.5	0.012 ~ 0.033	115.3	10.2	0.887	6.4	160
②	粉土	3.2	<0.015	0	13.3	0.792	8.5	190
③	粉土	5.8		0	14.3	0.746	12.6	220
④	粉质粘土	5.1		0	18.7	0.715	10.2	260
⑤	粉质粘土	>10		0	19.5	0.698	10.8	280

性土,场地地基湿陷等级轻微(I级)。根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2004)需对地基土采取适当的处理措施。

3 地基处理方案设计

基于湿陷性黄土的工程地质特性,根据有关规范要求,在湿陷性黄土地基上进行结构物的建造,为确保结构物的安全和正常使用,应根据建筑物的结构特征、受力情况、基础类型和埋深及湿陷性黄土地层分布状况、湿陷厚度和周围环境等情况,科学合理地选择地基处理方法,全面或部分消除地基土的湿陷性,改善地基土的压缩性、渗透性,有效控制地基土湿陷性的发生。

根据本场地拟建建筑物荷载特征和岩土条件,经多方案技术经济对比分析,确定采用夯实水泥土桩法处理湿陷性黄土。

3.1 夯实水泥土桩法地基处理原理

夯实水泥土桩法是采取机械或人工方法成孔,选用相对单一的土质材料,与水泥按一定配比在孔外充分拌和均匀制成水泥土,分层向孔内回填夯实,制成均匀的水泥土桩。水泥土桩增强体与桩间土层通过褥垫层一起组成复合地基共同承担上部荷载,达到提高地基强度,改善地基土变形特性的目的。

夯实水泥土桩通过两方面作用使地基强度提高:一是成桩夯实过程中对桩间土的挤密作用,使桩周土强度有一定程度提高;二是水泥土本身夯实成桩,且水泥与土混合后可产生离子交换等一系列物理化学反应,使桩体本身有较高强度,具水硬性,而且随着时间的推移强度会持续提高。挤密作用由2个方面完成:一是采用沉管、冲击等方法在成孔过程中实现对周围土层的挤密作用;二是在成桩过程中通过对填料的竖向夯击产生侧向挤压变形达到挤密周围土体的作用。正是夯实水泥土桩成桩过程中对周围土层的挤密作用有效地消除了黄土湿陷的内在因素,即多孔性和欠压密性,实现了消除湿陷性的目的。

3.2 夯实水泥土桩法地基处理设计参数

根据建筑物结构荷载特征,结合环境条件,确定采用夯实水泥土桩法(挤土法)进行处理,依据规范《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002),设计处理深度10.0 m,桩孔孔心距1.0 m,梅花形布桩,孔径400 mm,施工采用机械柱锤夯扩成孔,填料采用水泥土,水泥掺入比20%,拌和均匀,分层机械夯实,严格控制夯填度。施工前对拌合水泥土进行了配比试验,制作标准试块进行抗压强度试验,要求桩身立方体抗压强度平均值 $f_{cu} \geq 4.0$ MPa,实际无侧限抗压强度实验平均值4.2 MPa。设计要求复合地基的承载力特征值 $f_{ak} \geq 300$ kPa,单桩竖向承载力特征值 $R_a \geq 165$ kN。

3.3 施工方法

该方法施工流程如图1所示。

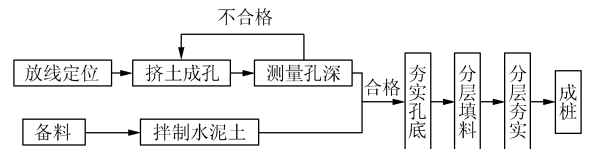


图1 夯实水泥土桩法施工流程图

为确保成桩质量,该法在施工中应注意以下几点:

- (1)成孔:本工程采用挤土成孔法,成孔直径400 mm,确保孔壁垂直;
- (2)拌料:将所用土过筛后,按要求将水泥与土搅拌均匀;
- (3)填料、夯实、成桩:孔内每填料约50 m夯击一阵,一阵不少于3次,锤落距 ≤ 2 m,至听到声清脆为止;
- (4)成孔过程应遵循先外后里的原则,隔行隔排,间隔两孔跳打,打后立即回填;
- (5)工程桩施工时防止塌孔:施工时,必须跳打,夯实水泥土时,禁止在临近成孔,以防止因夯击振动引起塌孔。

4 处理效果

地基处理施工完成15日后对夯实水泥土桩处理效果进行了单桩和复合地基静载荷试验及低应变变桩身完整性检测。

(1)单桩竖向承载力静载荷试验检测5个点,典型 $Q-s$ 曲线如图2所示。静载荷试验结果单桩竖向承载力 $R_a \geq 165$ kN,满足设计要求。

从曲线可以看出,5根桩的总沉降最大12.28

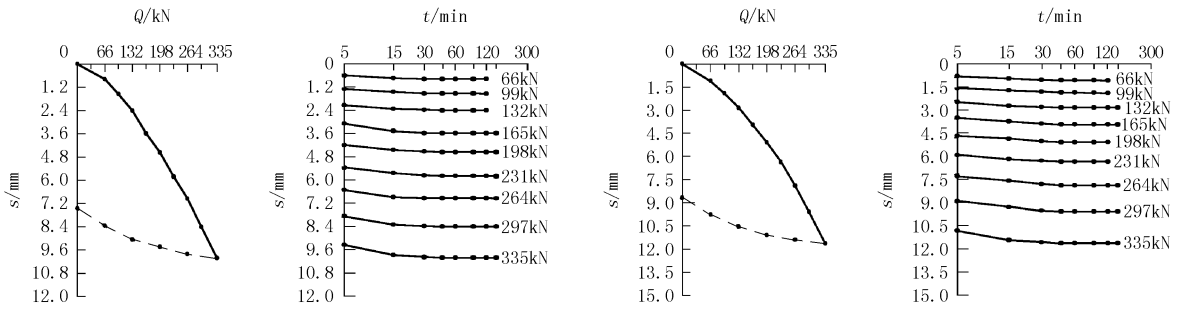


图 2 单桩静载荷试验 Q-s 曲线

mm,且沉降随时间、荷载的变化都是均匀的,基本上是弹性的。由此可以看出,当 $Q = 335 \text{ kN}$ 时,水泥土桩也没有达到极限承载力状态,还有很大“储备”。由卸载曲线可以看出,桩的弹性回弹量很小,最多只有 3.51 mm ,说明桩体刚度较大,沉降量主要是由于桩整体下沉造成的。

(2)单桩复合地基承载力静载荷试验检测 5 个点。静载荷试验最大加载量不小于设计压力的 2 倍 (600 kPa),结果见表 2。典型载荷试验 $P-s$ 曲线见图 3。

表 2 静载荷试验成果表

试验点号	最大加荷 /kPa	累计沉降 /mm	单桩复合地基承载力/kPa	复合地基承载力特征值/kPa
DF-1	600	5.05	300	
DF-2	600	9.85	300	
DF-3	600	6.14	300	300
DF-4	600	7.23	300	
DF-5	600	8.47	300	

静载荷试验单桩复合地基承载力 $f_{spk} \geq 300 \text{ kPa}$,满足设计要求。

根据各试点实测资料绘制的 $P-s$ 曲线可以看

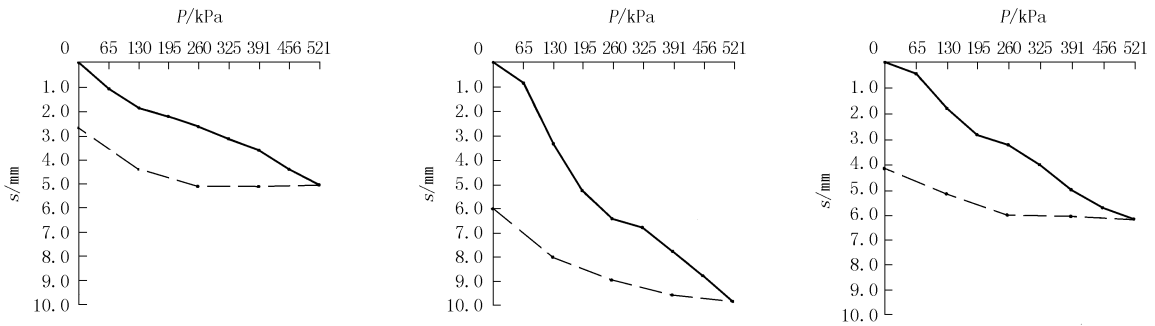


图 3 单桩复合地基静载荷试验 P-s 曲线

出:本次静载试验各试点复合地基在荷载作用下均未达极限工作状态,均处在弹塑性或以弹性为主的工作状态。

(3)抽检总桩数 20% 进行低应变桩身质量检测,结果均为 I 类桩(桩身完整)。

(4)通过对桩间土探井取样,进行湿陷性试验,结果显示湿陷系数均小于 0.015 ,有效消除了土的湿陷性。

从基础完工到建筑物竣工 2 年,进行了连续观测,从沉降观测结果看,沉降量 $42.2 \sim 61.3 \text{ mm}$,沉降差最大 0.0015 ,满足规范要求。

5 结语

(1)采取挤土成孔的夯实水泥土桩地基处理方法可以有效消除或减小黄土的湿陷性,处理后的复

合地基强度和抗变形能力得到明显提高,处理效果良好,很好地解决了地基强度和黄土湿陷问题,从本工程看,地基承载力提高了 2 倍,消除了土的湿陷性。

(2)夯实水泥土桩地基处理方法适宜于处理地下水位以上的粉土、粘性土、素填土等地基,其施工简单,质量易于控制,造价低,经济、社会、环境效益明显,适用性强,有极大的发展潜力。

参考文献:

- [1] 闫明礼. 地基处理技术[M]. 北京:中国环境出版社,1996.
- [2] 郑晏武. 中国黄土的湿陷性[M]. 北京:地质出版社,1982.
- [3] 胡广韬,杨文远. 工程地质学[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [4] 徐建红. 自重湿陷性黄土地区桩基设计探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9):7-8.
- [5] 范志勇,程新涛. 孔内深层强夯技术在湿陷性黄土地区应用及检测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(11):23-25.