

# 黄土地区地基工程中挤土效应及其影响

冯志焱<sup>1</sup>, 兰 嵩<sup>1</sup>, 林在贯<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 西安 710055; 2. 西北综合勘察设计院, 西安 710003)

**摘 要:**针对黄土地区饱和土基础工程中的挤土桩和挤土类地基处理中遇到的工程问题,用挤土效应和超静孔隙水压力效应的概念分析了相关工程现象发生的机理和原因。工程实践和理论分析表明,在饱和黄土与饱和无黏性土地基中进行挤土桩或挤土类地基处理时,超静孔隙水压力的累计上升会对基础工程施工过程、桩的承载力以及周边环境和基坑支护体系的稳定性产生影响,对这种影响的正确评价及相应工程措施对确保工程安全是十分重要的。

**关键词:**饱和黄土; 挤土效应; 超静孔隙水压力; 基坑稳定

**作者简介:**冯志焱(1964—),男,陕西延长人,从事岩土工程的教学与科研。

## 0 引 言

在我国,黄土地层分布非常广泛,其中包括非饱和黄土和饱和黄土。非饱和黄土的土力学性质及工程性质所可能表现出的某一方面的特殊性,如非饱和性、结构性,以及湿陷性和地震易碎性等,已为工程技术人员所普遍熟悉,因而在学术研究和工程实际中都能得到重视。实际上,黄土工程问题不仅是非饱和黄土的这些特殊问题,在黄土地区地基工程中也会遇到其他的一些容易被人们所忽视的问题,如在某些施工条件下饱和土中的挤土效应与超静孔隙水压力问题,如处理不好,往往会引起工程事故。

在黄土地区的基础工程中,常会遇到挤土桩(如静压桩)或有挤土效应的地基处理方法(如一定工艺条件的 CFG 桩)。这种施工工艺所产生的挤土效应对桩周土体的影响主要表现在压桩挤密、剪破刺入、重塑扰动、触变恢复几个方面<sup>[1, 2]</sup>。对瞬时排水固结效应不明显的饱和黄土,这种工艺还会在一定范围内产生可观的超静孔隙水压力,它的消散以及土的再固结,还可在桩周形成硬壳层<sup>[3]</sup>。上述这种桩周和桩端土体的压密和再固结,会使桩周应力场及土性参数发生变化,引起桩侧摩阻力与桩端阻力增加,产生有利于桩的承载性状的效果;同时,挤土效应还会使邻近土体产生位移,影响周边环境的稳定与安全,而超静孔隙水

压力的累积会使土体有效应力和强度降低,产生类似液化的效应,也会对基础施工造成严重影响。在这种基础工程的设计与施工中,应充分利用前者的有利方面,而对后者,则应采取措施,尽量减少其不利影响。

以往对挤土效应的研究集中在沉桩引起的土体中的应力变化,超静孔隙水压力及其消散,以及土体的重塑与再固结,及其对桩承载力的影响,土体位移及对施工和周边环境的影响等<sup>[1, 4~7]</sup>。这种研究主要针对饱和软土地基,很少看到在饱和黄土中类似的研究和工程实践的报道。本文通过几个工程实例,来说明饱和黄土中沉桩过程的挤土效应和超静孔隙水压力的影响及相应对策。

## 1 饱和黄土中的静压桩

黄土的颗粒组成以粉粒为主,占到 60%~70%,黄土的渗透系数在  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  cm/s 之间<sup>[8]</sup>,属中等渗透性(软土的渗透系数在  $10^{-6} \sim 10^{-8}$  cm/s 之间)。在黄土地区,经常会采用静压桩作为承受上部结构荷载的基础形式。静压桩在压桩过程中以桩机本身的重量作为反作用力,克服压桩过程中的桩侧摩阻力和桩端阻力。当桩在竖向静压力作用下沉入土中时,桩周土体受到挤压,土中孔隙水压力急剧上升,土的抗剪强度随之降低,因而桩身很容易下沉。同时,土体内部产生超静孔隙水压力,它沿桩径方向呈高梯度迅速

衰减。

饱和黄土中静压桩的设计与施工时应考虑两方面的情况,一是承载力问题(包括单桩与群桩中的一根桩、时间效应的影响等),二是施工过程中超静孔隙水压力及其影响。就承载力来说,它不是一个定值,而是随沉桩后休止时间的增加而增长,而且不同时期的增长率是不同的,初期较快,逐渐减慢,最后趋于稳定值。设计中单桩承载力一般依据土的物理性质指标或双桥静力触探试验,由桩侧摩阻力和桩端阻力组成,并由单桩载荷试验的结果最终确定。这种情况下的载荷试验应在沉桩后土经过扰动重塑至触变恢复、超静孔隙水压力消散后(经过一段时间)进行,以尽量消除施工过程的影响,并与桩在实际工作情况下土层的状态一致。而对于大面积工程桩(群桩),若施工不当,由于桩周土扰动,特别是超静孔隙水压力的累积,会使桩周土强度降低、桩侧和桩端抗力也降低,使沉桩更容易,可能对沉桩阻力及由沉桩阻力来判别桩承载力产生误导作用。因此,群桩中单桩不同于独立的单桩,随着沉桩后时间的延长,桩的承载力逐渐提高,这既是土挤密效应的影响,也是超孔隙水压力消散和土体再固结的结果。

西安建国饭店建于1984年,地基土为由原强烈湿陷黄土因地下水位上升转变而来的高压缩性的饱和软黄土。工程采用筏板下钢筋混凝土静压桩基础,设计桩径 $350 \times 350$  mm,桩长13.5 m。在设桩工作开始之前,先对三根桩进行了静载荷试验,步骤是先将桩压入至预定深度,再开挖至筏底深度,然后进行载荷试验。沉桩和载荷试验的时间间隔仅数日,所得结果如图1(曲线2)。载荷试验所得单桩承载力与岩土工程勘察时的静力触探评价一致。

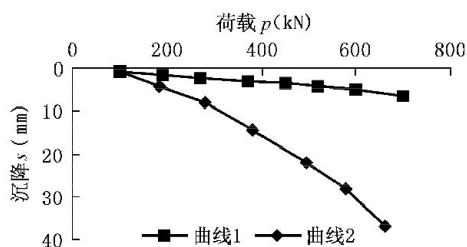


图1 载荷试验结果

工程桩的施工步骤是先开挖至筏底深度,然后再压桩,但在不久即出现了意外情况,在预制桩被吊起就位后,未经施加外力在自重情况下下沉

数米,且随着沉桩数目增大,情况越加严重。经分析认为这是由于沉桩速度过快,土中超静孔隙水压力相应激增,不及消散所致,不会影响桩的最终承载力。为了对这一观点进行验证,对近一月前压入的三根桩进行了载荷试验,其结果如图1(曲线1)所示。

由图1可以看出,后三组桩的承载能力大为提高,相应沉降也大为减少。这是挤土效应和经过近一月后超静孔隙水压力消散、土体再固结的结果。

## 2 挤土类地基处理中的施工与周边环境问题

CFG桩是经常采用的地基处理方法,当采用长螺旋钻孔、管内泵压混合料工艺时,也有挤土效应和超静孔隙水压力效应,它不仅对施工过程和桩的承载力产生影响,还会引起场地周边环境和基坑的稳定产生不利影响。

陕西榆林一工程,建筑物20层,场地土为细砂,地下水位6.5~7.0 m,采用CFG桩复合地基,桩径400 mm,桩长20 m。基坑深6.0 m,采用水泥土格构式支护体系,宽3.0 m,入土深度3.0 m。场地及周边环境如图2。施工顺序为水泥土桩格构式支护体系—基坑开挖—CFG桩施工。在进行CFG施工时,发现基坑支护顶部水平位移逐渐增大,达到20 cm多。基坑南侧的展览厅地面纵向产生三道明显裂缝,裂缝宽度超过1 cm。在工程后期还发现有些已完成的CFG桩有“空壳”现象,甚至沉入土中十多米。经过分析认为,产生这一现象的原因是在CFG施工过程中,会在土体内产生超静孔隙水压力,由于三台设备连续施工,CFG桩施工速度较快,土中超静孔隙水压力来不及消散而累计增加,土体的强度降低甚至失去强度,从而使已完成的CFG桩在自重作用下刺入土中。

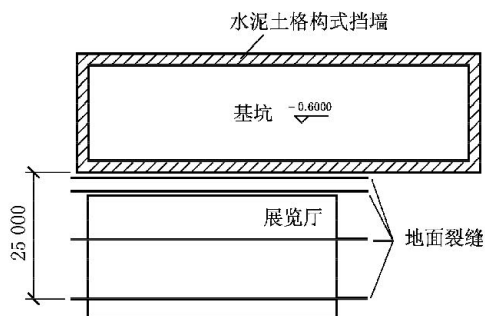


图2 基坑周边环境及裂缝情况

在重力式的水泥土格构式支护结构中,作用其上的荷载是外侧土体产生的主动土压力,而抗力则由支护体系的重力和基坑内侧坑底以下土体的被动土压力来提供。当施工过程中超静孔隙水压力累积上升、有效应力和土的强度降低、基坑底以下土体所能提供的抗力也随之降低,使支护结构向内位移。理论研究和工程实践表明,单桩沉桩时产生的超静孔隙水压力随距桩距离对数衰减,饱和软土中单桩施工时桩侧产生的超静孔隙水压力的影响半径最大约为  $20r_0$ <sup>[4, 9]</sup>(沿深度有所不同)。在桩群内部,施工初期孔隙水压力随施工过程累积增大,但由于“水裂”作用的存在,孔压达到有效上覆压力即基本趋于稳定。深度不同,稳定值也不相同,埋置越深,稳定值就越大。在桩群以外,孔隙水压力随距离呈线性衰减<sup>[5]</sup>,影响范围大约为 1.5 倍桩长<sup>[4]</sup>。据此,在 CFG 桩施工时产生的超静孔隙水压力,不仅使支护结构抗力减小,还会使较远的地基内部的土体有效应力和强度降低,从而在地面产生不均匀沉降和裂缝。在本工程中,桩长 20 m,超孔隙水压力的影响范围大约为 30 m 左右,与该工程展厅地面裂缝吻合。

针对工程中出现的情况,对后期工程采取了以下措施:CFG 桩施工时,不连续进行,而是隔开一定桩数“跳打”,并控制施工速度,以使产生的超静孔隙水压力尽可能消散,而不会累计上升;对原设计水泥土格构式支护结构的宽度适当加宽,以增加其稳定性。

### 3 结 语

黄土地区的饱和软黄土或饱和无黏性土中进

行挤土类的桩基础或地基处理工程时,挤土效应和超静孔隙水压力效应会对桩基或地基的承载力,以及对施工过程、场地周围环境和基坑稳定产生影响。理解其中的发生机理,就能有效地利用其有利的一面,避免不利的影

### 参 考 文 献

- [1] 龚晓南,李向红. 静力压桩挤土效应中的若干力学问题[J]. 工程力学,2000,17(4):7~12.
- [2] 张展毅,冯志焱. 西安黄土地区静压桩荷载沉降特性与分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(14):2548~2553.
- [3] 彭吉力,施建勇,黄刚. 考虑挤土效应的桩基承载力分析[J]. 河海大学学报,2002,30(2):105~108.
- [4] 鄢洲,杨建永,高渐美. 饱和软土地基中沉桩引起的超孔隙水压力的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2004,2(3):41~44.
- [5] McCabe B A, Lehane B M. Behavior of axially loaded pile groups driven in clayey silt [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, 132(3): 401~410.
- [6] 朱沁,陈晖,李韬. 沉桩挤土对孔隙水压力影响的试验研究[J]. 上海地质,2006,3:61~63.
- [7] 王育兴,孙 钧. 打桩施工对周围土性及孔隙水压力的影响[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(1):153~158.
- [8] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [9] 唐世栋,何连生,傅纵. 软土地基中单桩施工引起的超孔隙水压力[J]. 岩土力学,2002,23(6):725~729.