挖孔灌注桩基础下沉的加固处理实例

尚继红
（铁道部科学研究院西北分院，兰州，730000）

提　要　挖孔灌注桩因其单桩承载力高，施工无噪音，无需专用工具，费用较省等特点，作为建筑物基础已被广泛认可。但挖孔灌注桩对其施工方法、水文地质和工程地质条件等依赖性很大，若不顾任何条件的使用，必将带来不良后果。本文结合兰州市某建造在湿陷性黄土和人工堆填土地基上的 7 层住宅楼，采用人工挖孔灌注桩基础下沉变形的原因，介绍了治理此类病害的方法及其工程实践。

一 建筑物及场地概况

该 7 层住宅楼位于兰州市黄河北岸黄土丘陵区，区内包括三道山梁及与其相间的两条冲沟，经削梁填沟后，于 1995 年采用挖孔灌注桩基础建造了一幢框架结构民用建筑。次年，便发生了数根挖孔灌注桩整体下沉，楼房墙面多处裂缝，直接影响建筑物的安全使用。

二 下沉原因分析

1. 挖孔灌注桩受力分析

当挖孔灌注桩受竖向荷载作用时，荷载—位移曲线的一般形式如图 1 所示。图中最上

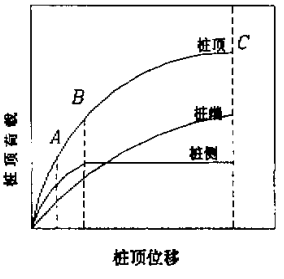


图 1　挖孔桩的荷载—位移关系

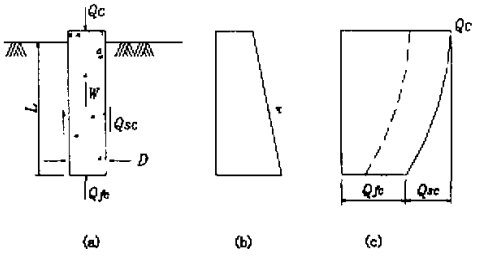


图 2　挖孔桩作用力平衡及荷载传递

边的一条曲线，代表作用在挖孔桩顶的总荷载，其余两条曲线分别代表荷载的侧壁阻力分量和桩端阻力分量。为了形象地说明图 1 中挖孔桩的加荷性状，这里用图 2 作用于桩上力

的平衡关系来表达。图 2(a)桩长为 L，桩径为 D，桩重为 W，作用于桩顶的竖向荷载为 Q_c，桩侧摩阻力为 Q_{sc}，桩端阻力为 Q_{fc}。图 2(b)表示土中沿桩侧和桩端的抗剪强度(τ)的分布，图 2(c)表示桩侧摩阻力和桩端阻力在各级荷载下的分配。

一旦竖向荷载作用于挖孔桩的桩顶，此时桩顶出现下沉，土的抗剪强度开始发挥作用，把荷载传递给桩周土体，致使荷载沿桩身埋深逐渐减少。这个过程由图 2c中的虚线表示。此时桩顶荷载传递给桩端的力很小，上述加荷相当于图 1 中的 A 点。

当桩顶荷载进而由图 1 中 A 点增至 B 点时，沿桩壁四周土的抗剪强度得到全部发挥，而桩顶荷载进一步向下传递并在桩端产生。当全部桩顶荷载增至最大时，所有桩端阻力都得到了发挥(图 1 中的 C 点)，这时荷载传递深度分布的曲线如图 2(c)中的实线。至此，由图 2(a)所示力的平衡关系，即很容易建立起挖孔灌注桩在竖向荷载作用下单桩承载力公式：

$$Q_c=Q_{sc}+Q_{fc}-W \tag{1}$$

式中 Q_{sc}——桩侧摩阻力；

Q_{fc}——桩端阻力；

W ——桩身自重。

但若遇到桩周和桩底持力层土系软化较明显的土，一旦遇水后，桩侧摩阻力非但不增加，反而会快速变为负值(即负摩阻力)。同时受原冲沟地下水的影响，桩端持力层被泡软，又给下沉变形留出了空间。

2. 挖孔灌注桩下沉原因

该住宅楼 1996 年建成后，因室内、外管沟地基及建筑物四周地坪均未做硬化处理或仅做了浅层(40cm 换填)处理。同年进入雨季后，天然降水未能及时疏导排放，直接进入地基土中，引起地沟塌陷、管道断裂，大量水涌入桩周土层内，原本具正摩阻力的土变为负摩阻力。加上地下水的作用下，桩端泥质砂岩持力层表面开始泡软，在各种外力和桩身重力的作用下拉动桩基整体下移。仅 1996~1997 年两年内就有 19 根桩产生了下沉，最大一根桩(即图 3 中的椭圆形桩)下沉 278mm，其中严重和较严重的 15 根。幸亏有高 700mm、宽 400mm 的地梁托住，使整个上部结构损坏并不严重，未形成危房。

三 加固处理方案的比选

对该住宅楼桩基下沉病害的整治，几家单位分别提出了各自不同的加固方案如下：

1. 增设井桩法

这种方法是在已下沉桩的两侧(即地梁下)，再各浇注一根挖孔桩，以取代或减弱原桩的作用。该方案仅对目前下沉最严重的 7 根桩进行处理，共需增设挖孔桩 14 根，对其余下沉的桩仅将与底梁脱节缝做填塞处理。总费用约 20 万元。此方案因不能从根本上解决问题而被否决。

2. 桩端持力层压浆补强法

此法是在桩周打斜孔，穿透挖孔桩底部的扩大端，插入注浆管，仅对被泡软的泥质砂岩进行压浆补强，以提高桩端持力层承载力。该方案预计 22 万元。分析认为：就我国目前压浆施工手段来说，要对仅被泡软了的 1cm~3cm 厚的泥质砂岩压浆补强，且又在既有

建筑物重力的作用下施工，能否进浆，实属未知。

3. 固化桩周土并加帷幕注浆法

该方法如图 3 所示。根据挖孔桩下沉轻重程度，分别在桩周布 2~4 个注浆孔，打入注浆管，注入浆液。目的是消除桩周黄土的湿陷性和堆填土的欠固结性，同时增大桩周摩阻力。待全部注浆工作完成间隔一段时间后，再用干硬性细石膨胀混凝土对桩与地梁间的缝隙夯填密实，共加固桩 19 根。同时在建筑物四周通过压浆增设一道防水帷幕，以防止外界水对未加固桩造成新的危害。该法的总费用为 30 万元。

经论证比选后，选定了 3.3 方案。

四　工程设计与施工

1. 设计

工程设计如图 3 所示，总加固土方量 2800m³。

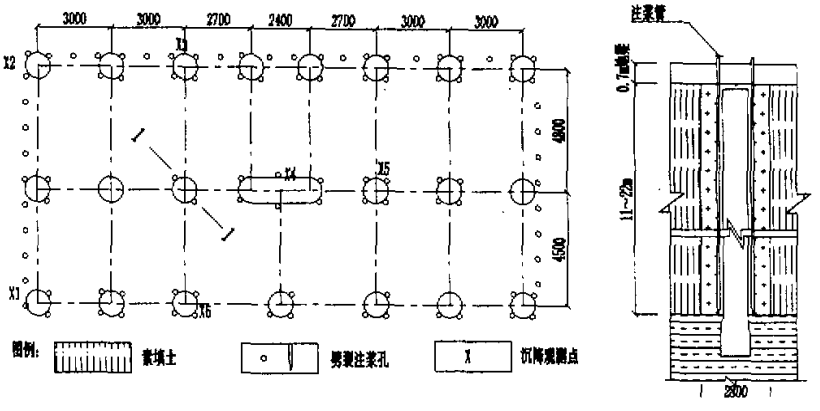


图 3　桩周土固化法施工设计图

技术参数为：注浆量：350~400L/m³（每方土）　下管深度：11~22m

浆材配比：　水泥:粉煤灰:黄土:水=1:4:4:5

2. 工程施工

该桩基加固工程于 1998 年 6 月 5 日开工，先完成建筑物四周的防水幕墙施工，再从下沉最严重的桩基处下管注浆，至下沉较轻的桩基处结束。并对桩与地梁脱节处进行了夯塞补强，共 50 天全部完成。

五　效果检查与评价

为验证加固处理的效果，除在施工期间及施工前后对部分下沉桩基进行跟踪观测(如表 1 所示)外，还采用了现场解剖的办法，即在现场任意挖开两根被加固的桩周土检查，

发现除桩周土在相当范围内被固结外，在被加固桩的桩身处还胶结了大量浆液凝固体，形如草绳缠于树干。下挖至 9m~10m 时，发现胶结体如人造石林立于桩周土中，将桩紧紧的围裹。

表 1　沉降观测值统计表

观测日期 观测点	1998.6.3	1998.7.5	差值	1998.8.9	差值	1998.9.12	差值	1998.10.16	差值	1998.12.9	差值
1	-1.8199	-1.8376	17.7	-1.8498	11.8	-1.8495	0.1	-1.8496	0.1	-1.8495	-0.1
2	-0.3174	-0.3180	0.6	-0.3190	1.0	-0.3193	0.3	-0.3194	0.1	-0.3195	0.1
3	-1.7462	-1.7470	0.8	-1.7494	2.4	-1.7494	0	-1.7495	0.1	-1.7495	0
4	-1.9588	-1.9746	15.8	-1.9960	21.4	-1.9960	0	-1.9960	0	-1.9961	0.1
5	-1.8597	-1.8702	10.5	-1.8842	14.0	-1.8843	0.1	-1.8842	-0.1	-1.8843	0.1
6	-1.8362	-1.8441	7.9	-1.8552	11.1	-1.8552	0	-1.8553	0.1	-1.8552	-0.1

从沉降观测资料来看，注浆加固前和注浆加固期间，各点的下沉量是比较大的，但加固工程完成后，均已逐渐趋于稳定。

六　结　语

对自重湿陷性黄土广为分布的黄土丘陵区，经人工爆破削山填沟的黄土与堆填土地基，采用挖孔灌注桩穿透该土层、坐落在红泥岩地基上的桩基础，因地下水、天然降水或管道漏水等引起的基础下沉事故的处理，采用压力注浆法进行加固是可行的，其加固效果是明显的。

参考文献

[1] 金问鲁，顾尧章等：《地基基础实用设计施工手册》，北京，中国建筑工业出版社，1995。