

水泥土桩荷载传递特征的试验和理论分析

郝永华

(中兵勘察设计院 北京 100053)

【摘要】 本文通过现场载荷试验以及根据不同深度内埋设的土压力盒获得的资料, 对水泥土桩在垂直荷载作用下荷载沿深度传递特征进行了初步分析, 同时在机理方面对此进行了探讨。

【关键词】 桩体应力 应力传递 配合比 侧摩阻力 临界长度

【Abstract】 This paper analyses the load transmit characteristics along deep direction of soil-cement pile under the vertical load. And discussed on mechanism.

【Key words】 Stress in pile shaft, Stress transmit, Mixed ratio, Lateral frictional resistance, Critical length

0 前言

水泥土桩复合地基是近几年在北方地区使用的一项地基处理新方法, 由于具有施工方便、工期短、成本低的优点, 日益受到广泛重视。但是目前对这类桩的研究还处于初级阶段, 对荷载沿深度传递特征报道还不很多, 如王廷杰^[1] (1992) 和王长科^[2] (1994) 等人曾对碎石桩这类散体桩进行过这方面的初步探讨, 对水泥土桩这类半刚性桩的荷载作用应力传递如何, 在理论方面报道的不多, 实测方面更不多见。本文作出这一尝试, 以便能起到抛砖引玉的作用, 使对水泥土桩的研究更加完善, 在地基处理中发挥更

大的效益。

1 试验地点及工程概况

本试验地点选择在一个水泥土桩施工现场, 场地工程地质条件如下:

(1) 杂填土: 厚度0.40~2.40m, 在水泥土桩施工之前, 已部分挖除。

(2) 新近沉积粘土: 厚度2.40~2.90m, 可塑, 呈灰褐色, 结构上具有大孔隙, 承载力低, 仅为80kPa。

(3) 粉质粘土: 厚度1.80~3.80m, 可塑, 呈灰色, 土质均匀, 承载力较高, 为180kPa。

以上各层土的物理力学指标见表1。

表1 各层土物理力学性质指标

土层编号	土名	厚度 H/m	天然含水量 $\times 100$	天然重度 $\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	饱和度 $S_r \times 100$	液性指数 I_L	压缩模量 $E_{s,100\sim 200}/\text{MPa}$	标准贯入击数 $N_{63.5}$	承载力标准值 f_{ks}/kPa
(1)	杂填土	0.40~2.40							
(2)	新近沉积粘土	2.40~2.90	40.8	18.2	98	0.58	3.03		80
(3)	粉质粘土	1.80~3.80	21.7	19.2	84	0.22	10.62	20	180

该工程为6层住宅楼，砖混结构，条形基础，基础坐落在②层上，设计要求地基承载力达到180kPa，显然②层土的天然地基承载力不能满足设计要求，按照目前一般作法，经计算桩长需要4.0m左右，为了探明水泥石桩在荷载作用下沿深度的传递规律，

优化设计，决定在施工之前，先施工两根试验桩，桩长3.0m，并且在桩长不同深度内埋设了土压力盒，14d后现场作单桩复合地基载荷试验，试验结果表明，复合地基的承载力达到180kPa，完全满足设计要求，见图1。

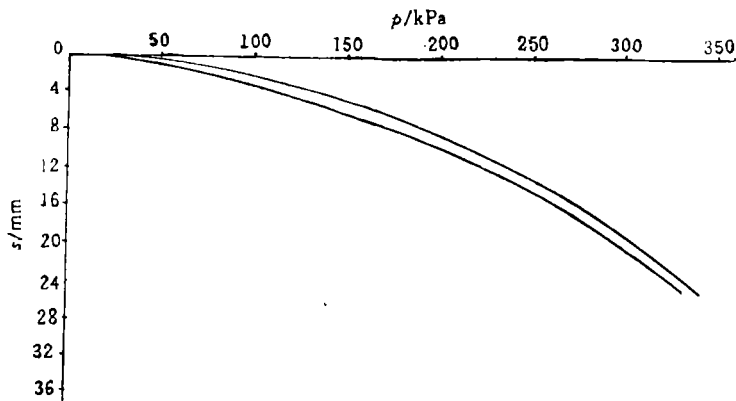


图1 单桩复合地基载荷试验 $p-s$ 曲线

根据试验结果，最终优化后的设计结果为：桩径350mm，桩长3.0m，沿条基下布置，在主要承重墙下按双排等三角形布置，其余单排布置，桩距0.90~1.20m。

2 试验方法

试验桩的施工均按目前通常采用的标准进行，土压力盒随桩施工埋设，其顺序为先用洛阳铲人工成孔，成孔后用夯机对孔底虚土夯实，整平，然后在孔底放置第一个土压力盒，要求土压力盒与孔底平整接触，位置居桩中心。为了防止夯机对压力盒的振动影响，在成桩填料时，先填入少量的水泥砂浆，厚度达到0.5m左右，夯机静压，然后分薄层填料，再用小落距分层夯实成桩；另一方面，为了防止出现成桩不实现象，在施工中，严格控制每次的填料量，并采用小落距多次夯击的办法来实现，施工之前，在地面作了试验，采用上述方法其成桩质量和通常作法差别不大。在施工的两根试验桩内，分别在桩底、桩中部及桩顶埋设了土压力盒，见图2。

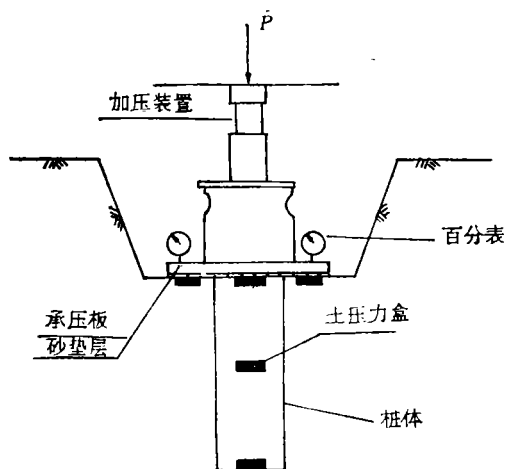


图2 压力盒埋设示意图

为了测量在外荷载作用下桩、土分别对荷载的反应情况，承压板下面桩间土范围内也分别埋设了土压力盒，由于施工中土压力盒被损坏，没能测量出结果。

成桩14d后开始现场载荷试验，承压板为圆形，面积为 0.5m^2 （桩的截面面积为 0.096m^2 ）。试验采用快速法，最终加载量为

设计荷载的2倍,分8级加载,每级加荷增量为50kPa。桩的沉降由设在承压板上的2个百分表读数,刚开始2级内每隔5min读数一次,以后每隔15min读数一次,每级测试时间为2h,试验时出现下列情况之一可以终止:(1)在某级荷载下,桩变形不停顿;(2)地面出现明显隆起和裂缝,压力加不上去;(3)加压达到设计荷载的2倍。

3 试验结果与分析

试验之前,对桩身不同深度内的土压力盒进行初频率测定,各土压力盒比较正常,每级加压开始和结束各读数一次。根据测试结果,分别绘制了每级荷载作用下土压力盒在不同深度的反应,见图3。

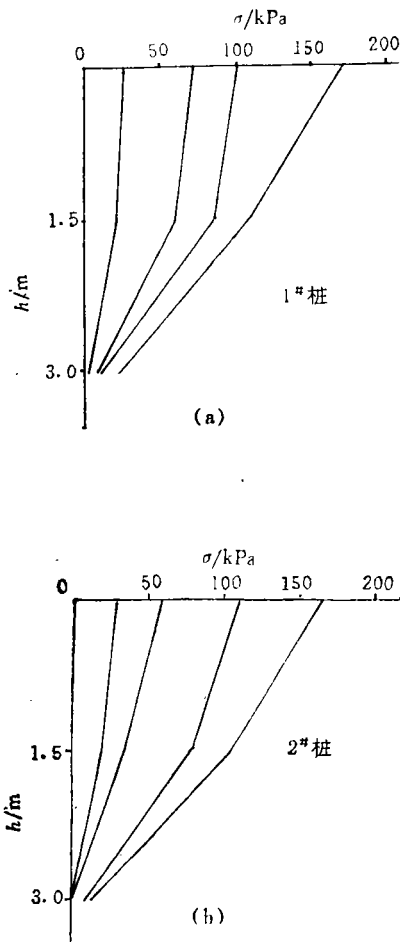


图3 桩体应力沿深度分布图

从图3可以看出,在外荷载作用下桩体应力随深度增加而衰减,在3.0m处(即桩底),桩身应力只占桩顶应力的10%~15%左右,而且大幅度衰减一般在1.5~1.8m左右,即相当于5~6倍的桩径范围内,这一结果和目前有关文献报道颇为接近,但应注意,这一结果与桩身强度、桩间土强度有关,本次试验桩成桩时,由于过分强调振动对土压力盒的影响,部分桩段夯击不太密实,试验后在1.4m左右从桩芯取出一组试块(尺寸10cm×10cm×10cm)的单轴抗压强度(14d)2.2MPa来看,比采用标准方法施工的(14d)试块强度(平均2.8~3.2MPa)略低,估计随着桩身强度的提高,应力传递深度也随之增加。同时也可以看出,随着桩顶荷载增大,应力传递深度也就越大,普遍规律是:70%的应力集中在2.0m左右这个范围内,即使荷载达到预加荷载,应力在2.0m以后增加也不明显。此现象提示我们,在实际设计中,应加强5~6倍桩径深度内的桩身强度,超过一定深度,桩长增加对桩的承载力提高影响不大,因此,设计中未必使桩端都进入较好的持力层内,桩体材料的配合比也可以在不同深度采用不同的配合比。

4 桩体内荷载传递的机理分析

在此之前,不少人对散体材料桩的荷载传递进行过理论分析,但从受力机理来看,水泥石桩由于具备半刚性到刚性的特征,在荷载作用下,应力主要沿深度方向传递,而不像散体桩具有水平方向鼓胀的特性,因此,这类桩的变形应该以桩体的垂直变形占主导地位,当桩长小于某一长度(临界桩长)时,桩顶荷载由桩侧摩阻力和桩底承载力共同来承担,当大于某一深度时,桩顶荷载全部由桩的侧摩阻力来承担。根据上述分析,下面从理论上对水泥石桩的荷载传递进行分析。

如图4所示,取水泥石桩一微段 dz ,不

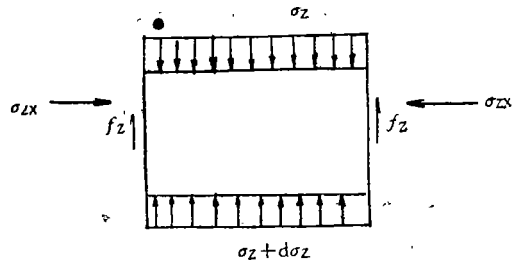
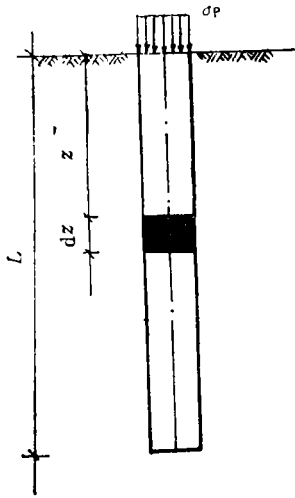


图4 桩体受力图

计桩自重，由力的平衡条件：

$$\sigma_x A_p = (\sigma_z + d\sigma_z) A_p + f u dz$$

$$\text{即 } \frac{d\sigma_x}{dz} + \frac{\sigma_x \cdot \beta \cdot u \cdot k}{A_p} = 0 \quad (1)$$

式中： σ_x ——桩顶面以下 z 处的附加应力；

u ——桩的周长， $u = 2\pi r$ ；

f ——桩周单位面积摩擦力，

$$f = \beta \cdot K \sigma_x;$$

A_p ——桩断面面积， $A_p = \pi r^2$ ；

r ——桩的半径；

β ——桩体与土之间的摩擦系数（北京地区一般可取0.5~0.8）；

k ——桩的侧压力系数，本文建议取朗肯土压力系数 $k = \tan(45^\circ$

$$- \frac{\varphi}{2})。$$

$$\text{令 } m = \frac{\beta \cdot k \cdot u}{A_p} = \frac{2\beta \cdot k}{r}, \text{ 代入式(1),}$$

经积分得：

$$\sigma_x = \sigma_p e^{-mz} \quad (2)$$

式中： σ_p ——桩顶应力。

从式(2)可知，桩荷载在深度方向上的传递呈负指数规律逐渐衰减， k 、 β 越大，即桩的侧摩阻力和桩的强度越大，应力衰减越快，此时荷重主要由桩上部来承担；深度越

大，应力越小。根据现场有关资料，本试验取 $\beta = 0.4$ ，桩间土 $\varphi = 20^\circ$ ，在深度 $z = 3.0\text{m}$ 处，代入式(3)则得 $\sigma_x = 0.06\sigma_p$ ，和上面我们的测试结果 $\sigma_x \approx (0.10 \sim 0.15)\sigma_p$ 基本吻合，事实表明，该工程设计达到优化目的。

5 结论

(1) 水泥土桩荷载传递规律呈负指数函数沿深度衰减。

(2) 应力传递深度与桩顶荷载大小、桩身强度、桩间土性质等因素有关，是不定的，在北京地区对于多层建筑临界桩长可取5~6倍的桩径。

(3) 在实际施工中，可根据桩的应力传递规律进行优化设计，对多层建筑，桩端未必都要进入好的持力层。

参 考 文 献

- 1 吴廷杰等.干振碎石桩加固地基的工艺与机理.见:第三届地基处理学术讨论会论文集.1992
- 2 王长科.散体材料桩临界长度计算.军工勘察, 1994 (3)
- 3 段继伟等.水泥搅拌桩桩土应力比试验研究.岩土工程师, 1993 (4)
- 4 潘林有.水泥搅拌桩复合地基设计的若干问题.华东建工勘察, 1994 (1)

收稿日期: 1997-01-29