

静力压桩沉桩阻力分析与估算

储王应 王能民

(信息产业部电子综合勘察研究院华东分院, 浙江 314000)

【摘要】 分析了静力压桩沉桩阻力的组成,提出了沉桩阻力的估算公式,对采用静力压桩施工工艺、判断沉桩可能性及设备选型具有参考价值。

【关键词】 静力压桩;沉桩阻力;桩尖阻力;桩周摩阻力;沉桩可能性

【中图法分类号】 TU413

【Abstract】 Based on analyzing the composition of sinking pile resistance of static press pile, an estimation formula of sinking pile resistance is proposed. The paper is valuable for applying of the construction technology of static-press pile, judging the possibility of pile sinking and selecting the construction equipment.

【Key words】 static-press pile; sinking-pile resistance; pile-tip resistance; circumferential friction; possibility of pile sinking

0 引言

静力压桩施工工艺具有无震动、无噪音、无污染、工程造价相对较低和满足某些特殊施工条件等优点,因而在软土地区得到了广泛的应用。但因尚未对沉桩阻力进行认真分析与研究,往往按照类似地质条件下的施工经验,粗略估计沉桩阻力,致使部分工程的桩不能压至设计标高而中途改变施工方法,造成工期延误和浪费现象。我院在判断沉桩可能性时,一般是根据武汉静压桩协会推荐的经验公式估算沉桩阻力和设备选型。

$$P = 0.075 p_s + 0.0163 \sum p_{si} h_i \quad (1)$$

式中: P ——沉桩阻力, kN;

p_s ——桩端土层的比贯入阻力, kPa;

p_{si} ——桩端以上各层土的比贯入阻力, kPa;

h_i ——相应 p_{si} 值土层的厚度, m。

式(1)比较适合于以软土或粘性土作为桩端持力层的工程,不适合于以粉性土或砂

土为桩端持力层的工程。式(1)还存在物理概念不明确、反映阻力不严谨等缺陷。因此,利用已积累的经验 and 知识,客观分析沉桩阻力,较准确地估算沉桩阻力是静力压桩施工领域的重要课题之一。

1 沉桩阻力的组成分析与估算

沉桩阻力由桩尖阻力和桩周摩阻力组成。静力触探阻力一般是探头阻力,所以不宜将两者贯入阻力曲线进行直接比较。但从图1可以看出压桩阻力曲线与静力触探曲线两者形态基本一致,反映地层变化特征两者基本上是一致的。桩尖阻力与桩周摩阻力占沉桩阻力的比例不是恒值,它是和地基土性质、土层厚度与埋深、土层组合情况等因素有关,桩的贯入深度和桩尖处土层特性起更主要作用。因此,有时桩尖阻力起主要作用,但在桩入土深度较大的情况下,桩周摩阻力则是主要的。总之,桩尖阻力与桩周摩阻力对沉桩阻力起着相辅相成的作用。实际工程

作者简介:储王应,1966年生,男,工程师。1989年毕业于合肥工业大学岩土工程专业。现主要从事岩土工程勘察、施工及研究工作。

中,我们发现当桩在同一均质土层中连续下沉时,沉桩阻力随着桩的入土深度增加到某个值后趋于稳定,当桩由硬土层进入软土层时,沉桩阻力明显减小,这主要是桩尖阻力骤然降低所致。

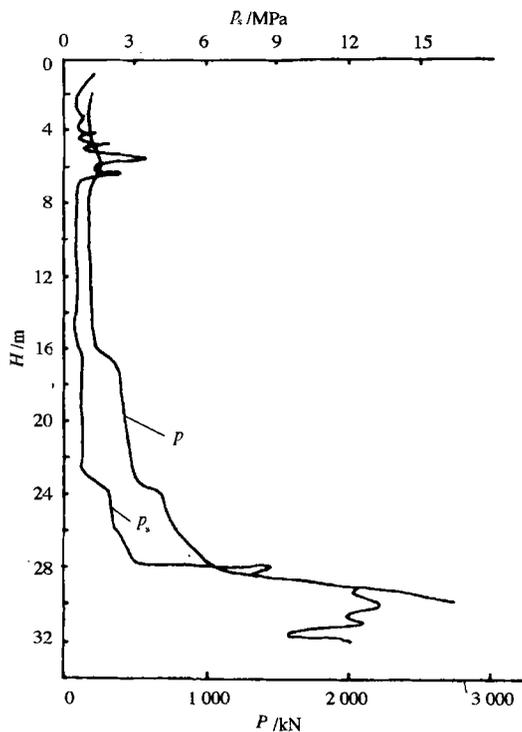


图1 沉桩阻力 P 与静探 p_s 曲线对比

1.1 桩尖阻力 P_j

静力压桩的沉桩过程与静力触探的贯入过程是相似的,所不同的是几何尺寸的差异。所以桩尖阻力与探头阻力应该具有良好的相似性。在应用静力触探资料估算预制桩的承载力时,上海地基规范(DBJ 08-11-89)考虑了桩尖以上高度范围 h_1 (8倍桩径)和桩尖以下深度范围 h_2 (4倍桩径)内土层性质的影响。实际上,沉桩时桩尖处土层的阻力也受上覆土层和下卧土层特性的影响,影响桩尖阻力的土层范围涉及到桩尖破坏机理,它和持力层附近土层组合与强度、持力层埋深

与厚度、桩尖进入持力层深度等有关。压桩工程实践表明,桩尖阻力的影响范围 h_1 、 h_2 值为 2.5 倍桩径(或边长)左右是合适的。若桩尖阻力影响范围内存在强度差异较大的土层时,有以下几种情形:

① 桩尖处土的强度较高, h_1 范围内存在强度较低土层时,则会明显降低桩尖阻力,桩尖阻力取决于 h_1 范围内土层强度的平均值(见图 2);

② 桩尖处土的强度较低, h_2 范围内存在强度较高土层时,则不会使桩尖阻力明显提高,桩尖阻力取决于 h_1 范围内土层强度的平均值(见图 2);

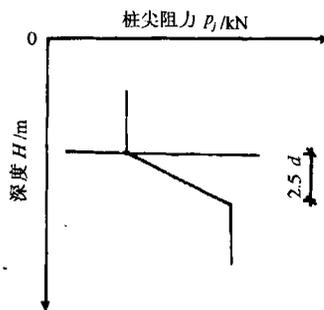


图2 双层地基(上软下硬)中桩尖阻力

③ 桩尖处土的强度较高, h_2 范围内存在强度较低土层时,则会明显降低桩尖阻力,桩尖阻力取决于 h_2 范围内土层强度的平均值(见图 3);

④ 桩尖处土的强度较低, h_1 范围内存在强度较高土层时,则不会使桩尖阻力明显提高,桩尖阻力取决于 h_2 范围内土层强度的平均值(见图 3);

⑤ 桩尖处土的强度较高, h_1 范围和 h_2 范围都存在强度较低土层时,则会显著降低桩尖阻力,桩尖阻力取决于桩尖以上或以下范围内土层强度平均值中的较小值(见图 4);

⑥ 桩尖处土的强度较低, h_1 范围和 h_2 范围都存在强度较高土层时,则不会使桩尖

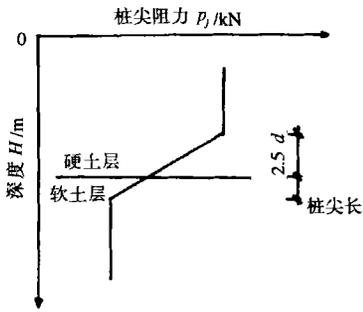


图3 双层地基(上硬下软)中桩尖阻力

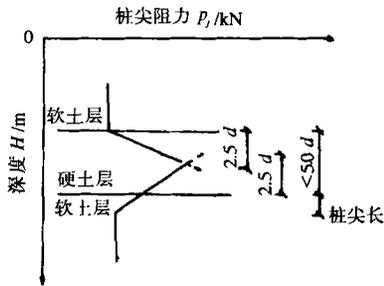


图4 三层地基(软土层中夹硬土层)中桩尖阻力

阻力明显提高,桩尖阻力取决于桩尖处软土层的强度(见图5)

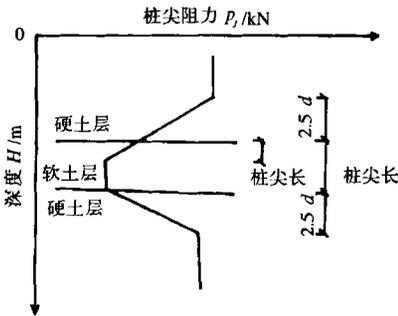


图5 三层地基(硬土层夹软土层)中桩尖阻力

桩尖阻力可按式(2)进行计算:

$$P_j = q_p A_p = \frac{\sum_0^{2.5d} m_i p_{si} L_i}{2.5d} A_p \quad (2)$$

式中: P_j 为桩尖阻力, kN; q_p 为桩尖处单位阻力(取 $q_{p上}$ 、 $q_{p下}$ 之小值), kPa; p_{si} 为比贯入

阻力, kPa; L_i 为相应 p_{si} 值土层厚度, m; d 为桩径或边长, m; A_p 为桩端截面积, m^2 ; m_i 为阻力系数, 它是一个随土性变化的参数, 对软土或松砂可取 0.6, 可塑~硬塑土取 0.4~0.5, 坚硬土取 0.3, 粉土、粉砂取 0.9~1.0。

1.2 桩周摩阻力 F

当桩在同一均质粘土层中下沉时, 往往沉桩阻力比较稳定, 可以认为桩尖阻力基本不变, 从而说明, 随着桩入土深度的增加, 总摩阻力 F 并非随深度线性增加, 通常会出现总摩阻力增加不大、不变或减小现象。这说明各土层对桩身的单位摩阻力在沉桩过程中不是恒值。在估算总摩阻力时, 不能将各层土对桩身的摩阻力进行简单叠加, 否则会使沉桩阻力估算过大, 得出错误结果。

图6是静力压桩沉桩阻力分布示意图。根据桩周摩阻力发挥程度, 我们将桩入土深度范围划分为上、中、下三部分, 即 L_1 、 L_2 、 L_3 段。沉桩时, 因桩身横向晃动(每一行程的桩被夹持或松夹引起), 浅层土体位移会使桩与土体间形成小的缝隙, 加上在超孔隙水压力作用下孔隙水沿桩周的渗流作用, 会使桩周单位摩阻力降低, F_1 接近于“零”; L_1 值受桩入土总深度、土的初始状态、土层性质等影响, 一般为 $0.15 \sim 0.3L_0$ (L_0 为桩的入土总深度), 当 L_0 较大时, 取小值, 反之取大

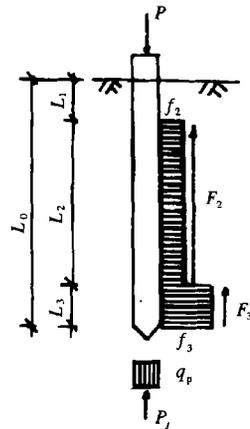


图6 沉桩阻力分布示意图

值,中间值内插(下同)。当浅层有相对硬土层时, $L_1 < 0.15L_0$, 这是因为硬土层对桩的侧向限制作用。

由于土体结构扰动,超孔隙水压力作用和孔隙水沿桩周的渗流,使桩身中部桩周土体软化,出现土的重塑现象,它会大大降低桩周单位摩阻力,所以在确定 F_2 时应乘以折减系数 n 。 L_2 值一般为 $0.5 \sim 0.75L_0$ 。当桩入土深度较大时, L_2 值大,反之则小。 F_2 与相应段的桩周土体强度和桩的入土深度成正比。

在桩尖贯入的同时,桩尖处土体产生向桩端附近的水平压力,使桩端附近单位摩阻力 f_3 增大,但因桩尖对土体产生的扰动影响和孔隙水压力的作用,又降低了土体强度。在上述因素共同影响下, f_3 值较接近于原状土强度。 L_3 值一般为 $0.1 \sim 0.2L_0$,长桩时取小值,反之则取大值。但 L_3 不宜小于 2 m (一次压桩行程),亦不宜大于 8 倍桩径。 F_3 与相应段桩周土体强度成正比,与桩入土深度成反比。

1.3 沉桩阻力的计算公式

沉桩阻力 P 可按式(2)进行计算

$$P = P_j + F_2 + F_3 = P_j + U \sum_0^{L_2} n_i f_{2i} L_{2i} + U \sum_0^{L_3} f_{3i} L_{3i} \quad (3)$$

式中: P 为沉桩阻力(若桩压至设计标高时则为终止阻力), kN; P_j 为桩尖阻力, kN; 可按式(2)计算; F_2 为桩身中部桩周摩阻力, kN; F_3 为桩身下部桩周摩阻力, kN; U 为桩周长, m; L_2 为桩身中部桩周摩阻力范围, m; L_3 为桩身下部桩周摩阻力范围, m; f_2 为桩身中部单位摩阻力, kPa; n 为桩身中部单位摩阻力折减系数,对软土或浅部粉土及稍密砂土取 0.2,对可塑土取 0.3,对硬土及密实砂土取 0.4~0.5; f_3 为桩身下部单位摩阻力, kPa。

式(3)中 f_{2i} 、 f_{3i} 可按上海地基规范(DBJ 08-11-89)确定,当有静探资料时,对粘性土,当 $p_s \leq 1000$ kPa 时, $f = (p_s/20)$ kPa; 当 $p_s > 1000$ kPa 时, $f = 0.025p_s + 25$ kPa; 对粉性土及砂土 $f = (p_s/50)$ kPa。地表下 6 m 范围内的浅层土,可取 $f = 15 \sim 20$ kPa。

值得注意的是,用静探资料估算的桩尖单位阻力 q_p 不宜超过 10 000 kPa,侧摩阻力 f 不宜超过 120 kPa。

2 应用实例

上海华虹 NEC 电子有限公司(909 工程)位于上海金桥出口加工区,场地地面标高 3.5 m 左右,场地地基土分布及主要物理力学性质指标见表 1,静力触探比贯入阻力 p_s 随深度 H 的变化曲线见图 1。

表 1 地基土分布及其主要物理力学指标

土 层	指 标	层厚 h/m	$w/\%$	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	e	a_{1-2}/MPa^{-1}	p_s/MPa
填土①		1.0					
粉质粘土②		1.5	32.6	18.6	0.929	0.38	1.0
淤泥质粉质粘土夹粉砂③		4.5	41.9	17.7	1.189	0.66	0.9
淤泥质粘土④		9.0	49.1	17.1	1.396	1.01	0.5
粘土⑤		7.5	41.9	17.7	1.189	0.63	0.9
粉质粘土⑥ ₁		2.5	23.4	19.9	0.689	0.26	2.1
粉质粘土⑥ ₂		2.0	25.0	19.8	0.719	0.19	2.6~2.7
砂质粉土⑦ ₁		>7.0	29.1	18.9	0.853	0.13	>9.0

(下转 46 页)

的变形要大一些,单双线法的结果差值较大。但在有侧限的压缩试验中,由于限制了侧向变形,致使单双线法的结果大致相同。

实测资料表明,在压力较小时,浸水的先后次序对湿陷性黄土的沉降变形影响不大,但压力较大时,预湿法的变形要大一些。

29) 应力增湿路径

湿陷性黄土的变形特性除了取决于土的自身性质以外,主要取决于力与水的作用。对于某一特定性质的土来说,其变形 ϵ 可用下式表示:

$$\epsilon = f(\sigma, w) \quad (2)$$

式中: σ 、 w 分别表示应力水平和增湿含水量。

把湿陷性黄土的含水量作为一个因素与应力、应变组成一个三维空间,把它们的作用过程用空间曲线来描绘。这种空间曲线称之为应力增湿路径。

30) 应力增湿变形曲面^[3]

收稿日期:1999-08-26

力和水作用的各种不同次序组合,可以

得出各种不同的应力增湿路径。这些应力增湿路径的集合将在 σ - ϵ - w 空间中组成一个曲面,称为应力增湿变形曲面。

用应力增湿路径和应力增湿变形曲面可清楚地表示湿陷性黄土在力和水作用下加荷变形和增湿变形的发展过程。

参 考 文 献

- 1 陕西省计划委员会. GBJ 25—90 湿陷性黄土地区建筑规范. 北京:中国计划出版社,1991
- 2 张苏民,张炜. 减湿和增湿时黄土的湿陷性. 岩土工程学报,1992,14(1):57~61
- 3 张苏民,郑建国. 湿陷性黄土(Q_3)的增湿变形特征. 岩土工程学报,1990,12(4):21~31
- 4 郑建国,张苏民. 黄土的湿陷起始压力和起始含水量. 工程勘察,1989(2):6~10
- 5 张苏民,郑建国. 力和水作用先后次序对湿陷性黄土力学性状的影响. 勘察科学技术,1990(3):10~14



(上接 28 页)

我们按本文对沉桩阻力的分析方法和估算方法对该工程采用的桩规格为 $450 \times 450 \times 30\ 000$ 的钢筋混凝土预制桩(桩顶设计标

高 3.5 m)在不同深度的沉桩阻力进行估算,并与实测值进行了对比,结果见表 2。

表 2 沉桩阻力估算值与实测值对比

深度 H/m	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	27	28	29	30
估算值 P_1/kN	235	178	187	220	255	292	413	475	502	616	778	895	972	2510	3015
实测值 P_2/kN	245	196	196	216	235	235	415	455	494	686	827	886	984	2160	2744
估算误差/%	-4.3	-10.1	-4.8	1.8	7.8	19.5	-0.5	4.2	1.6	-11.4	-6.3	1.0	-1.2	13.9	9.0

3 结 论

本文分析了静压桩沉桩阻力的组成,提出了沉桩阻力的估算公式。本文计算沉桩阻力的方法,通过实际工程应用,其误差一般小于 10%,满足工程精度要求。实际工程中,

在判断沉桩可能性与设备选型时,我们只需估算桩身穿过硬土层时的沉桩阻力和桩压至设计标高时的终止沉桩阻力。

收稿日期:1999-10-25