

搅拌桩沉降计算方法探讨

过兴发¹,徐立新²

(1.南通港口集团有限公司,江苏 南通 226006;2.安徽省港航勘测设计院,安徽 合肥 230011)

摘要 在归纳水泥土搅拌桩沉降计算的实体深基础法、复合模量法、沉降折减法基础上,指出了不同的加固区沉降计算方法会造成不同的下卧层沉降问题.论述了实体深基础法的来源及其可靠性,讨论了应力扩散法和复合模量法的适用性.指出实体深基础模式计算的搅拌桩沉降受人为影响因素较大,结果与桩位布置和基础大小有关,还常出现桩底附加应力为负的不合理情形.复合模量法理论充分,不定因素少,无人为影响,既可计算平均沉降,又可计算各点处沉降,是一种简便可行的计算方法.

关键词 水泥土桩;沉降计算;实体深基础;复合模量

中图分类号:TU473.1+2 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2003)07-0038-03

水泥土搅拌桩在国外的发展和应用已有 50 年历史,我国也有 20 年的历史,现又发展为加劲水泥土搅拌桩^[1].然而,近 10 年间搅拌桩工程事故不断增多,它又遭到了设计、业主和建设主管部门的质疑甚至禁止使用.水泥土搅拌桩复合地基沉降计算的主要分歧点是加固区的沉降量计算,而现有规范只是建议根据上部荷载、桩长、桩身强度等按经验取 10~30 mm.从表面上看,考虑到加固区复合土层的变形较小,地基沉降主要由下卧层引起,这样近似处理对复合地基总沉降影响不大,未尝不可,但是,这样做忽略了不同计算方法得到的加固区复合土层底面附加应力有很大差异,而此附加应力决定着下卧层的沉降大小,导致迥然不同的总沉降.

1 水泥土搅拌桩复合地基变形计算

水泥土加固的复合地基沉降量由加固区沉降量 s_1 和加固区下卧层沉降量 s_2 两部分组成.对 s_2 通常采用常规的分层总和法,下卧层顶面荷载即为实体深基础底面的平均压力.对 s_1 则常用以下三种方法:

a. 实体深基础法.将加固后的群桩视为一个个格子状的假想实体深基础,如图 1 所示.加固体沉降计算式^[2]为

$$s_1 = \frac{p + p_0}{2E_{sp}}l \tag{1}$$

式中: l 为水泥土搅拌桩桩长, m; p , p_0 分别为桩群实体深基础顶面、底面的平均压力, kPa; E_{sp} 为实

体深基础的变形模量, kPa.

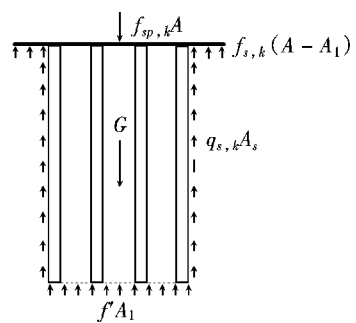


图 1 搅拌桩实体深基础计算示意图

b. 复合模量法.在常规的变形计算公式中,用各土层的桩土复合模量 E_{spi} 代替原土层模量 E_{si} ^[3].

$$s_1 = \sum \frac{\sigma_{zi}}{E_{spi}} h_i \tag{2}$$

$$E_{spi} = mE_{pi} + (1 - m)E_{si} \tag{3}$$

式中: σ_{zi} 为第 i 层复合土层上的附加应力, kPa; h_i 为第 i 层复合土层的厚度, m.

c. 沉降折减法.先忽略加固体的存在,算出天然土体的沉降,然后考虑地基变形过程中桩体的应力集中再加以折减^[3].

$$s_1 = \mu_s \sum \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} h_i = \mu_s s_0 \tag{4}$$

式中: s_0 , s_1 分别为加固前和加固后的沉降量, m; σ_{zi} 为不计加固体存在时第 i 层土的附加应力, kPa; μ_s 为加固体周围土体应力减少系数,亦称沉降折减系数.

作者简介 过兴发(1963—),男,江苏苏州人,工程师,从事港口工程基本建设和管理工作.

2 实体深基础法探讨

2.1 实体深基础法的来源

实体深基础法源于刚性群桩的计算理论,刚性群桩的承载力计算模式主要是按桩尖持力层地基土的强度来确定,方法有二:

a. 实体深基础法^[4]. Terzaghi 和 Peck 假设群桩与桩间土的作用类似于刚性的实体深基础,其承载力等于实体基础底面上的极限承载力和实体基础周边上的抗剪力之和,如图 2(a)所示.这种方法在美国和日本应用很广,《DBJ08-11-89 上海市地基基础设计规范》采用此模式来验算持力层强度,我国 JGJ94-94《建筑桩基技术规范》则用此模式验算软弱下卧层承载力.

b. 应力扩散法^[4]. 不计群桩周边上的抗剪力,而将群桩底面积扩大来计算其承载力,见图 2(b).如德国、苏联和我国的有关规范就采用此法.当 $\alpha = 0^\circ$ 时,桩的承载力就等于桩底土层的承载力,如图 2(c)所示.别赞列夫通过单桩到 5×5 的群桩模型载荷试验,得出桩周的荷载扩散角 $\alpha = 0^\circ \sim 7^\circ$.我国对一般淤泥质软土可取 $\alpha = 4^\circ$,其它土质条件时可取 $\alpha = \varphi/4$ (φ 为桩穿过的各土层内摩擦角加权平均值).

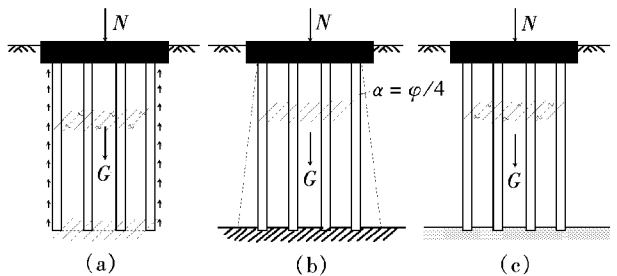


图 2 刚性群桩基础的计算模式

可见,假想实体深基础理论是基于刚性群桩的整体剪切破坏模式而提出的,用于计算刚性群桩的承载力及软弱下卧层强度验算,并得到下卧层顶面附加应力.需指出的是,这类方法只有在桩距较小时,群桩基础可能像实体深基础那样产生整体剪切破坏时才接近于实际.一般认为,对桩距小于等于 6 倍桩径、桩数超过 9 根的群桩基础,基本认为呈现整体剪切破坏^[5],可假设群桩和桩间土为一个实体深基础.从图 2 可以看出,对摩擦桩,比较符合实体深基础法;对端承桩,较符合 $\alpha = 0^\circ$ 的应力扩散法;对端承摩擦桩或摩擦端承桩,较符合 $\alpha \neq 0^\circ$ 的应力扩散法.

2.2 实体深基础法的可靠性探讨

首先,水泥土桩的桩土破坏模式不一定是整体剪切破坏.水泥土搅拌桩的置换率一般均较大(20%~30%),常常还有许多连桩.每根搅拌桩不会像单

桩那样充分发挥承载作用,加固后桩土理应共同形成复合地基.由于水泥土搅拌桩桩身变形量比刚性桩大得多,属摩擦支承或支承摩擦桩.柔性较大的搅拌桩是否像刚性桩那样与桩周土形成实体基础还有待证实,因而,沿用整体剪切破坏下的实体深基础法也就有商榷之处.

其次,在运用实体深基础法计算水泥土搅拌桩沉降时,人们对实体深基础的理解和选取有很大差异,由此导致沉降计算结果变化很大,甚至出现明显的不合理.以下是通常的两种取法:①模式 A——取整个建筑基础的外缘桩边线所围区域为实体深基础的面积,如图 3(a)中阴影面积;②模式 B——取基础内部若干个相对紧邻的搅拌桩为一个局部假想实体深基础,整个基础则由若干个这样的局部深基础纵横交错组成^[6],如图 3(b)中阴影面积.显然,模式 B 比模式 A 计入的桩侧摩阻力要多得多,大小取决于基础大小和桩位布置.

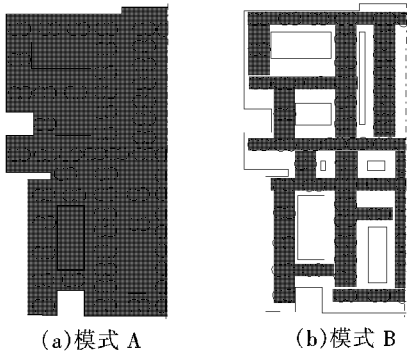


图 3 实体深基础的两种计算模式

例如,对常见的中等加固面积和布桩数量的基础,按模式 A 计算,因实体基础侧面积相对较小,导致桩底平面处附加应力严重偏高,计算总沉降严重偏大.与模式 A 相比,按模式 B 计算则会大大降低桩底平面处的附加应力,使之趋于一个较合理的数值,从而计算沉降与实测值接近,这是通常均按模式 B 进行沉降计算的原因.

但是,对加固面积很大、荷载很大、桩多且很长时,模式 B 往往又低估了桩底平面处的附加应力,使计算总沉降严重偏小.用模式 A 计算的沉降才与实测值接近.

对加固面积小、桩数少而稀的独立基础,按模式 A 计算时会出现假想实体深基础底面压力小于实体深基础的自重压力^[6],即深基础底面的平均附加压力 $p_0 < 0$.若按模式 B 计算, p_0 负得更多,使得两种模式计算的下卧层沉降为零、加固区沉降偏小,因此总沉降严重偏小.

总之,实体深基础法计算的加固区沉降量人为影响因素较大,不同计算模式所得结果差异较大,有

时造成实体深基础在桩底平面处附加应力为负,明显不合理。

3 关于应力扩散法和复合模量法

水泥土搅拌桩事实上是水泥颗粒和土颗粒间形成的松散胶结体,它与混凝土刚性桩的最大区别是它属于半柔性半刚性的桩体,与其说它是桩基,不如说它和桩周土组成了改良后的天然地基,像换土法那样共同将上部应力向下扩散。所以,应力扩散法倒是比较符合水泥土桩的承载和变形特征,而且其计算简单,结果稳定。但扩散角难以准确确定,特别是基础底板外缘无围护桩时,对基础底板外缘有 1~2 排围护桩时,可取扩散后面积为围护桩外围面积。

复合模量法仍基于经典的分层总和法沉降计算理论,只是考虑到搅拌桩的改良作用,用加固土层的桩土复合变形模量来代替天然地基土变形模量。这种方法不仅理论基础充分,而且可以算出加固区各土层的分层沉降以及中心和边缘处沉降,且不存在通过假设来推求下卧层顶面应力的难题。但是,它在加固区的附加应力仍取天然地基中的值,这点与事实有点不符。众所周知,地基中的附加应力是将地基视为半空间无限体、弹性体和均质体而得出的。水泥土桩复合地基符合半空间无限体、近似弹性体,不符合均质条件,故搅拌桩复合地基中的附加应力已不同于天然均质地基,但由此引起的误差相对来说较有限,计算结果较稳定,不存在人为的认识差异。

沉降折减法是一个经验计算方法,沉降量的大小取决于桩土应力比。实际上,由于水泥土搅拌桩施工质量的多变性,其桩土应力比变化剧烈,低者只有 2~5,高者达到 10~15,实践中难以操作。

4 工程实例计算

南京炼油厂在长江下游河漫滩地上兴建直径 60 m、设计承载力为 240 kPa 的 5 万 m³ 油罐。需加固的淤泥质土呈软塑状,含水量为 47.3%,孔隙比为 1.34,厚达 12~22 m。设计使用长 16.2~26 m 的水泥土搅拌桩加固,并用径向和环向连桩形成格栅。采用 525 号矿渣水泥,掺入量为 15%。共有 3 079 根桩,经钻孔取芯、标准贯入和无侧限压缩试验检测^[7~10],搅拌桩的合格率为 90%。建罐期对罐底和四周环梁沉降进行了观测。

表 1 为实体深基础法、应力扩散法和复合模量法计算的沉降结果。计算时取桩顶平面的平均压力为 240 kPa,实体深基础直径取 60 m。应力扩散法中的 $\alpha = 3.8^\circ$ 为 $\varphi/4$, $\alpha = 6.1^\circ$ 是取扩散后面积为围护桩外围面积的情形。计算沉降均为罐中沉降。

表 1 各种不同计算模式的沉降量比较 mm

计算方法	加固区 沉降 s_1	下卧层沉降 $s_2 = m_s s_2'$			总沉降 s	s/s' ①	
		s_2'	m_s	$m_s s_2'$			
实体深基础法	模式 A	51	139	0.53	74	125	1.19
	模式 B	15	0	0.53	0	15	0.14
应力扩散法	$\alpha = 0^\circ$	53	150	0.53	80	133	1.26
	$\alpha = 3.8^\circ$	50	136	0.53	72	122	1.17
	$\alpha = 6.1^\circ$	48	128	0.53	68	116	1.10
复合模量法		49	118	0.53	63	112	1.06

注:① s' 为平均实测沉降,均为 105。

由表 1 可见,实体深基础法的两种计算模式的结果差别非常大,本例中模式 A 的计算结果与实测值接近,模式 B 的计算结果与实测值相去甚远,严重低估了地基沉降量,原因是大面积多桩基础,桩侧摩阻力计算值过大,导致实体深基础在 13 m 深处的基底附加应力 p_0 已等于零!以致下卧层沉降为零。应力扩散法和复合模量法的计算沉降均与实测值接近,尤其是取扩散后面积为围护桩外围面积的应力扩散法及复合模量法的沉降仅比实测值大 6%~10%。

5 结 语

水泥土搅拌桩是一种半柔半刚性的桩体,它与桩周土形成的复合地基破坏形式未必形同实体深基础,更多地是以扩散的形式传递上部荷载。用实体深基础模式计算的搅拌桩沉降人为影响因素较大,结果与桩位布置和基础大小有关,还常出现桩底附加应力为负的不合理情形。复合模量法理论充分,不定因素少,无人人为影响,既可计算平均沉降,又可计算各点处沉降,作为水泥土搅拌桩的沉降计算简便可行。

参考文献:

[1] 史佩栋,张美珍.水泥土及加劲水泥土搅拌桩施工技术发展现状[J].工业建筑,2001,31(2):41~45.
[2] 地基处理手册编委会.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
[3] 吴邦颖,张师德,陈绪禄.软土地基处理[M].北京:中国铁道出版社,1995.
[4] 杨克己,韩理安.桩基工程[M].北京:人民交通出版社,1992.
[5] GBJ7-89,建筑地基基础设计规范[S].
[6] 冶金部建筑研究总院.地基处理技术(2)[M].北京:冶金工业出版社,1991.
[7] 何开胜.当前水泥土搅拌桩的施工质量问题 and 解决方法[J].岩土力学,2000(6):778~781.
[8] 何开胜,宣芝锦.深厚软土中水泥土搅拌桩制桩技术的试验研究[J].水利水运科学研究,1998(1):19~27.
[9] 何开胜,袁文明.超长水泥土搅拌桩质量检测方法和控制标准[J].工业建筑,1999(1):57~61.
[10] 何开胜,陈宝勤.超长水泥土搅拌桩的试验研究和工程应用[J].土木工程学报,2000(2):80~86.

(收稿日期 2003-07-10 编辑 熊水斌)