

# 水泥搅拌桩复合地基沉降数值模拟分析

付贵海 周 慧 江学良

(湖南城市学院,湖南益阳 413000)

**【摘要】** 结合实际工程,利用有限元软件对水泥搅拌桩复合地基的沉降进行了数值模拟,分析了桩距、桩长、桩体模量以及垫层模量对复合地基沉降的影响,得出了水泥搅拌桩复合地基的沉降的部分规律,对水泥搅拌桩复合地基的设计和施工有一定的指导意义。

**【关键词】** 水泥搅拌桩;复合地基沉降;数值分析

**【中图分类号】** TU 472.36

## Numerical Analysis of on Settlement of Cement-soil Mixing pile Composite Foundation

Fu Guihai Zhou Hui Jiang Xueliang

(Hunan City University, Yiyang 413000, Hunan, China)

**【Abstract】** On the basis of real engineering, the FEM is applied to analyse numerically on settlement of cement-soil mixed-pile composite foundation, and the factors including space among two piles, pile length, pile modular, underlying layer modular to effect on settlement of composite foundation are analyzed. The conclusions of settlement of cement-soil mixedpile composite foundation are obtained. The conclusions has guiding significance for the similar engineerings.

**【Key words】** cement-soil mixing pile; settlement of dry mixing pile composite foundation; numerical analysis

### 0 引言

水泥搅拌桩复合地基是一种处理软土、粉土和含水量较高且地基承载力较低的粘性土等地基的处理方法。目前就搅拌桩复合地基而言,实践水平远远超过了理论的发展,理论在某种程度上,只能大体上作为工程实践的一种参考,还未上升到主导地位来指导工程实践。理论研究的不足,可能限制其进一步地推广和改良。桩距、桩长、桩模量以及垫层模量对复合地基沉降的影响也很难通过现场试验进行研究。数值模拟是研究复合地基变形特性的有效手段,它可以克服理论研究难以深入开展的困难,又可以不受复合地基现场试验场地、资金等种种条件的限制,能够较好地反映复合地基中桩、土之间的接触,而且还能考虑土体应力应变的非线性特征,成为复合地基分析的热点<sup>[1-4]</sup>。

### 1 有限元模型

#### 1.1 工程概况

某公路工程软土段,该段为路堤,填方高约 5 m,位于洞庭湖湖区。土层条件:第一层为亚砂土,低压

缩—中偏高压缩性,软塑,孔隙比 0.58~0.81,层底埋深 5.0~5.7 m;第二层为粉砂,密实,饱和,层底埋深 13.5 m;第三层为亚粘土,低压缩—中偏高压缩性,软塑—硬塑,孔隙比 0.52~0.78,厚 9.5 m。根据现场实际情况,确定采用水泥搅拌桩处理该段软土地基,拟定桩长为 11 m,桩间距为 1.5 m。为了指导水泥搅拌桩复合地基的设计和施工,需要了解水泥搅拌桩复合地基沉降规律,为此进行了有限元数值模拟。

#### 1.2 计算参数及计算模型<sup>[5]</sup>

深层搅拌桩复合地基模型用二维平面应变模型,桩和土的模型均选取 Druker—Prager 弹塑性模型,桩和土的模量及参数的选取见表 1。

由于路基对称性的特点,取路堤地基的一半进行分析,路基中心线为对称轴,左侧边界为路基的中心线,模型中桩长 11 m,有限元网格划分示意图见图 1,图中加固区宽度为 12.5 m,土体横向和纵向各取 25 m,左右边界约束 X 方向位移,底边界所有方向位移全部约束。

表 1 材料参数

材料	弹性模量/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)	粘聚力/kPa
亚砂土	3.5	0.4	18	10
粉砂	10	0.3	29	0
亚粘土	8	0.32	22	20
桩体	100	0.2	40	30
垫层	25	0.25	35	0

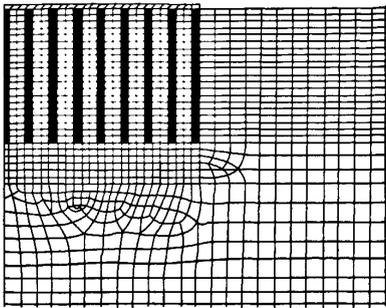


图 1 有限元模型网格划分图

## 2 数值计算结果及分析

### 2.1 垫层模量对复合地基沉降的影响

通过改变褥垫土层的变形模量(10 MPa、25 MPa、50 MPa、100 MPa、200 MPa)分别对复合地基进行的数值计算模拟,取桩长 11 m、桩间距 1.5 m,得出桩顶沉降量及土顶沉降与褥垫层模量的关系变化曲线见图 2。

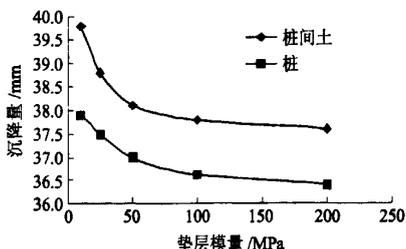


图 2 桩顶及土顶最大沉降量随垫层模量变化曲线

从图 2 可以看出,随着褥垫层模量的增加桩顶和土顶的沉降量都有减小的趋势,但总的沉降量减小不大,沉降变化曲线下降趋势比较明显,而在 50 MPa 到 200 MPa 的范围内,沉降变化曲线比较平稳,沉降量几乎没有变化。因为随着垫层模量的增加,桩土应力比也在逐渐增加,这说明桩顶所承受的荷载也在逐渐增大,应力在桩顶和土表面进行了重分布。但是当垫层模量增加到某一值以后,再加大模量值,应力比变化趋于平缓,这是因为垫层模量变大,其流动性降低,因而作用在桩间土上的荷载不能调整转移至桩上,而是直接作用于桩间土,使桩间土

被挤密,反而还提高了桩间土的承载力,这说明一味加大垫层模量以降低复合地基沉降在工程上是不可行的,合理的模量约在 50~200 MPa 之间。

### 2.2 桩长对复合地基沉降的影响

在地基条件相同的情况下,若复合地基受到的荷载不变,则在某一范围内桩长越长,越能发挥桩侧摩阻力,使桩体承载力大大提高。为了讨论桩长对沉降的影响,通过改变桩长(9 m、10 m、11 m、12 m、13 m、14 m、15 m)分别对复合地基的进行了数值计算模拟,得出桩长与桩顶沉降量的关系变化曲线见图 3。

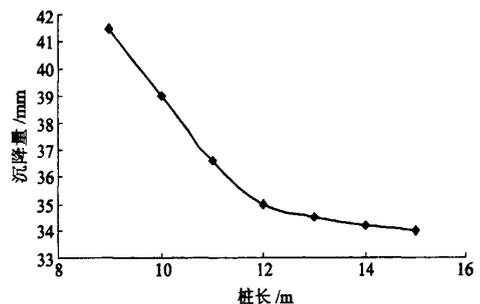


图 3 桩长与桩顶沉降量的关系曲线

从图 3 可以看出,当桩长小于 11 m 时,随着桩长的增加复合地基的沉降量急剧减小,而当桩长大于 11 m 后,随着桩长的增加沉降变化趋于平缓,桩长的增加并不能显著减小复合地基的沉降量。这与传统的有效桩长概念相似,在工程中应该利用这一特性,不要盲目增加桩长。随着桩长的增加,桩和土的沉降都在减小,因此,可以通过增加桩长来减小沉降。但是,一味的增加桩长来减小沉降的方法并不可取,因为从沉降随桩长变化曲线各点的斜率可以看出,当桩长较小时,增加桩长对控制地基变形的效果显著;当桩长超过一定值时,再增加桩长,复合地基变形减小的幅度将降低,因为桩长达到一定长度后桩体的轴力逐渐趋近于零,因而再增加桩长不能起到实质性地减小复合地基沉降的作用。在本例中可以取桩长为 11 m 到 13 m。

### 2.3 桩体模量变化对复合地基沉降的影响

桩体的变形模量的大小直接影响到整个复合地基的总沉降量,当桩体的变形模量发生变化时整个搅拌桩复合地基的沉降量也随之发生变化,在进行数值分析计算时将桩体变形模量分别取 10 MPa、25 MPa、50 MPa、75 MPa、100 MPa、150 MPa,得到桩顶及土顶沉降量随桩体变形模量的变化曲线(见图 4)。

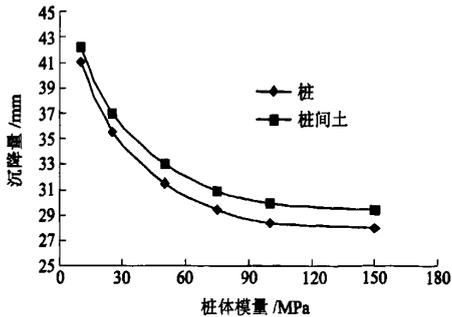


图4 桩顶及土顶沉降量随桩体变形模量的变化曲线

从图4可以看出,在桩体模量较小的时,桩体的沉降量与土体的沉降差别不大,而随着桩体模量的不断增加,桩体与土体的沉降量变化曲线逐渐分开,桩间土的沉降量要稍大于土体的沉降量,而随着桩体模量的增大曲线的变化趋于平缓。由此可以得出,当搅拌桩模量较小时,复合地基的沉降很大,随着桩体模量的增大复合地基的沉降量迅速减小,但随着桩体模量的不断增大,复合地基的沉降量并不会明显的改变,因此在进行搅拌桩设计时,模量大小不能够达到减少沉降的目的,模量过大对沉降影响并不大,一味的去增加桩体的模量并不合理,必须依靠工程实际和工程质条件选择合适的桩体模量。

#### 2.4 桩距对复合地基沉降的影响

在进行数值模拟计算中,分别取桩距1.3 m、1.4 m、1.5 m、1.6 m、1.7 m、2.0 m、2.4 m进行计算,取桩长11 m,得到桩顶及土顶沉降量随桩距变形模量的变化曲线见图5。

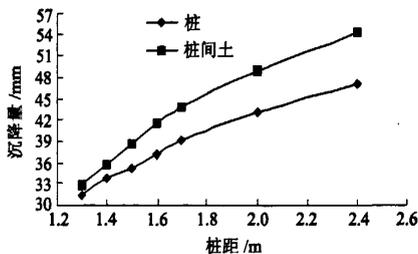


图5 桩顶及土顶沉降量随桩距的变化曲线

由图5可以看出,随着间距的增大,即置换率的减小,桩顶及土顶沉降量逐渐增加。当桩距较小时,桩土荷载分担比很大,桩承担了大部分的上部荷载,桩土沉降的差别很小,桩体过密桩侧摩阻力得不到充分发挥,无法发挥桩土共同作用。因此在进行深层搅拌桩复合地基设计时必须选取合适的桩距,使得桩和桩间土的作用都充分发挥。从沉降值看,选择1.3~1.5 m的桩间距较为适宜。

### 3 结论

通过有限元软件对影响水泥搅拌桩复合地基沉降的主要因素进行了有限元分析,得到以下几点结论:

1)一味加大垫层模量以降低复合地基沉降在工程上是不可行的,合理的模量约在50~200 MPa之间。

2)当桩长大于某一值后,随着桩长的增加复合地基沉降变化趋于平缓,桩长的增加并不能显著减小复合地基的沉降量。

3)桩体模量大小不能够达到减少复合沉降的目的,模量过大对复合沉降影响并不大,一味的去增加桩体的模量并不合理。

4)存在合理桩距充分发挥桩土共同作用,本文中选取1.3~1.5 m的桩间距较为适宜。

### 参考文献

- [1] 张庆松、李术才,等.粉喷桩复合地基沉降的影响因素分析[J].土工基础,20(6):16-19.
- [2] 文松霖,等.水泥搅拌桩复合地基沉降计算分析[J].岩土工程界,2008(1):41-44.
- [3] 关 键.某粉喷桩复合地基有限元分析[J].长沙理工大学学报,3(1):11-14.
- [4] 曾芳金.水泥土搅拌桩复合地基有限元分析[J].河北理工学院学报,2004,26(4):110-114.
- [5] 郝文化. ANSYS土木工程应用实例(M).北京:中国水利水电出版社,2005.

收稿日期:2009-01-14