

粉喷桩的静载试验及有限元分析*

张 浩, 张 显, 郭家鹏

(河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:在土建、交通、水利等工程建设中经常遇到的软弱地基, 软弱地基处理方法层出不穷, 许多经济、快速、有效的实用的方法在工程中已得到较广泛应用, 粉喷桩复合地基就是这类方法中较典型的一种。结合固镇新湖沟涵工程, 对工程中所用的粉喷桩进行静载荷试验, 并采用有限元法对粉喷桩单桩复合地基进行数值计算, 所得计算结果与实测数据基本吻合。

关键词:粉喷桩; 静载荷试验; 有限元分析; 软土地基; 沉降

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2007)02-0066-04

在饱和软土的地基处理中, 粉喷桩具有广泛的实用性, 其沉降相对小而快, 工后沉降较易控制, 可缩短工期, 相对加快工程进度, 而且不需预压期, 施工方便^[1]。且近年来的一些实践证明, 粉喷桩不仅适用于饱和软土的地基加固, 同样也适用于地基承载力标准值不大于 120 kPa 的饱和或非饱和粘性土、砂类土及填土的地基加固, 复合地基承载力标准值可以达到 300 kPa 以上^[2]。因此粉喷桩加固软土地基切实可行。

本文结合固镇新湖沟涵地基处理实际工程, 对复合地基做静载试验, 并运用 ABAQUS 大型计算软件计算对粉喷桩复合地基进行三维有限元数值模拟, 并与静载试验的实测数据进行对比分析。

1 工程概况及静载试验

1.1 工程概况

固镇新湖沟涵拟建场地地基土承载力较低, 不能满足设计要求, 故设计采用粉喷桩进行加固处理。设计桩径为 500 mm, 水泥掺入比为 16%, 置换率为 15%, 桩端需进入持力层 1 000 mm 以上, 要求加固后单桩复合地基承载力不小于 165.3 kPa。为检验该场地单桩复合地基承载力能否满足设计要求, 故对该场地进行了 3 组单桩复合地基静载试验。

工程场地在钻探揭露的深度范围内土层由上至下分布如下:

①层: 淤泥, 灰或灰黑色, 流塑, 很湿。层底埋深 0.60 ~ 1.50 m, 高程 14.70 ~ 13.60 m, 层厚 0.60 ~ 1.50 m, 层底高程 15.98 ~ 17.80 m, 属高压缩性土层。

②层: 中、重粉质壤土, 灰黄、棕黄色, 软 ~ 软可塑, 湿, 层底埋深 7.90 ~ 4.30 m, 高程 10.98 ~ 8.51 m, 层厚 7.90 ~ 2.80 m, 属中等 ~ 高压缩性土层。

③层: 淤泥质中粉质壤土, 灰色, 软 ~ 软可塑, 湿 ~ 很湿。含贝壳。层底埋深 10.50 ~ 8.10 m, 高程 8.08 ~ 5.91 m, 层厚 4.10 ~ 2.60 m, 属中等偏高压缩性土层。

④层: 重粉质壤土, 棕黄色, 硬可塑, 湿。含砂浆, 局部夹粉土薄层。可见厚度 4.90 ~ 2.70 m, 高程 3.58 ~ 2.10 m, 属中等压缩性土层。

⑤层: 粉土, 棕黄色, 中密, 湿, 可见厚度 1.50 m, 层顶高程 2.30 m。

1.2 静载试验

根据设计要求分别选择 3 个桩位来进行单桩复合地基的竖向静载荷试验, 具体的检测桩位由现场监理工程师随机选定, 各单桩复合地基试验点基桩桩号分别为 138#、132#、161#。承压板尺

* 收稿日期: 2006-11-22

作者简介: 张 浩(1982-), 男, 河南新乡市人, 硕士研究生, 主要研究方向为地质体安全监控。

寸为 0.92 m×0.92 m。试验采用“慢速维持荷载法”,即逐级加载,在每级荷载作用下达达到相对稳定标准后加下一级荷载。依据《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002,最大试验荷载按设计荷载值的 2 倍即为 330.60 kPa 来进行施加,将最大试验荷载按 10 级等量划分,每级荷载增量为总加载量的 1/10。由此所得静载荷试验实测结果。根据各试验点单桩复合地基静载荷试验实测结果,绘制 $P \sim S$ 关系曲线,见图 1。并且根据时间与沉降量关系的实测资料,绘制 $s \sim \lg t$ 曲线,见图 2 ~ 图 4。

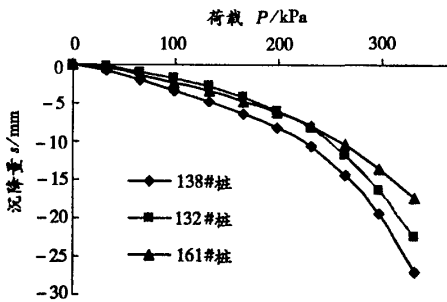


图 1 静载荷试验的 $P \sim S$ 关系曲线
Fig.1 The $P \sim S$ relation curves of the static loading test

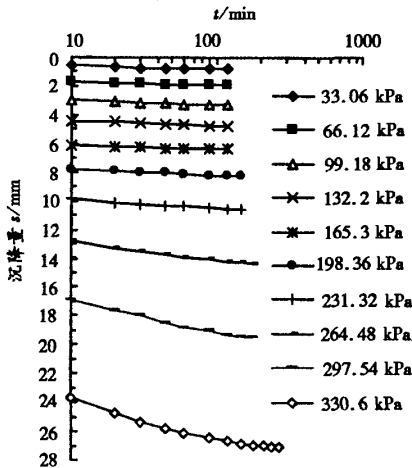


图 2 138#桩 $s \sim \lg t$ 关系曲线
Fig.2 The $s \sim \lg t$ relation curves of the 138th pile

1.3 试验结果分析

(1)138#桩位:从图 1 的 $P \sim S$ 曲线看出:曲线在 0 ~ 165.3 kPa 荷载段呈直线段变形,复合地基处于弹性工作阶段;165.3 kPa 荷载后曲线变化曲率比较平缓,复合地基处于平缓的弹塑性工作

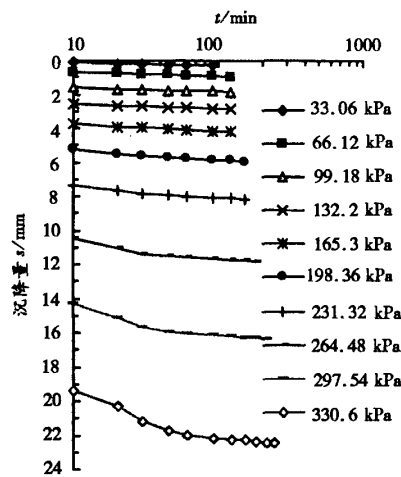


图 3 132#桩 $s \sim \lg t$ 关系曲线
Fig.3 The $s \sim \lg t$ relation curves of the 132nd pile

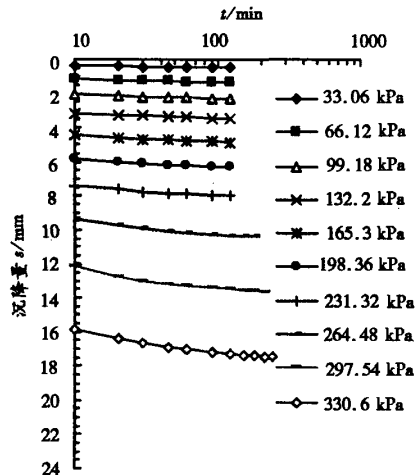


图 4 161#桩 $s \sim \lg t$ 关系曲线
Fig.4 The $s \sim \lg t$ relation curves of the 161st pile

状态;另外从图 2 的 $s \sim \lg t$ 曲线分析:曲线的尾部未出现明显的向下弯曲现象,说明复合地基未达到极限工作状态,即 $f_{u1} \geq 330.6$ kPa。因此,该试验点单桩复合地基的承载力基本值 $f_{01} \geq 165.3$ kPa,对应的复合地基沉降量 ≥ 6.390 mm。

(2)132#桩位:从图 1 的 $P \sim S$ 曲线看出:0 ~ 165.3 kPa 荷载段呈直线弹性工作状态;从图 3 的 $s \sim \lg t$ 曲线图分析曲线尾部未出现明显的向下弯曲现象,复合地基未达到极限工作状态,即 $f_{u2} \geq 330.6$ kPa,因此该试验点的单桩复合地基承载力基本值 $f_{02} \geq 165.3$ kPa,对应的复合地基沉降量 ≥ 4.175 mm。

(3)161 桩位:从图 1 的 $P \sim S$ 曲线看出:0 ~

165.3 kPa 荷载段呈直线段变化,复合地基处于弹性工作阶段;165.3 kPa 荷载后曲线变化曲率比较平缓,复合地基处于平缓的弹塑性工作状态;从图 4 的 $s \sim \lg t$ 曲线图分析曲线尾部未出现明显的向下弯曲现象,复合地基未达到极限工作状态,即 $f_{u3} \geq 330.6$ kPa,因此该试验点的单桩复合地基承载力基本值 $f_{03} \geq 165.3$ kPa,对应的复合地基沉降量 ≥ 4.840 mm。

综上所述,该场地上粉喷桩单桩复合地基的承载力标准值能达到 165.3 kPa,满足设计要求。在承载力标准值 $f_k = 165.3$ kPa 作用下,138#、132#、161#桩位的单桩复合地基对应的沉降量分别为 6.390 mm、4.175 mm、4.840 mm。试验桩位在最大荷载作用下,粉喷桩单桩复合地基未发现有明显的破坏迹象。因此,试验桩位处的复合地基仍可作为工程地基使用。

2 有限元计算分析

2.1 计算模型及计算参数

采用大型有限元软件 ABAQUS 仅对 138#桩进行沉降的 3D 计算分析。在建立计算模型时,采用 8 节点 6 面体单元,由于桩体与地基土中心对称,所以计算模型选取 1/4 个桩与地基土。由于水泥土桩体的模量远大于桩间土的模量,所以在计算时将粉喷桩视为线弹性材料,将桩间土作为非线性材料考虑,使用 Mohr - Coulomb 本构模型。因粉喷桩为摩擦桩,在加载时桩和土体间通过摩擦力调整它们之间的应力分布,故在桩和土体之间设置接触单元,进行接触分析。接触单元采用无厚度单元。进行网格划分时,因接触面处两种材料性质相差很大,单元尺寸应尽可能取小值,远离接触面以及桩体以下土体单元尺寸可以适当增大^[3]。有限元计算模型如图 5 所示,整个模型总共划分 7 960 个单元。桩体弹性模量取 33 MPa,泊松比 0.17,密度 2 400 kg/m³;土体采用 Mohr - Coulomb 本构模型,土体的材料属性见表 1。

2.2 计算结果对比

图 6 给出了 138#桩用 ABAQUS 软件计算所得的沉降曲线与静载试验得出的沉降曲线对比图。在图中可以看出,在用软件计算的过程中,在加荷后期,即从加第 5 级荷载 165.3 kPa 到加第 10 级荷载 330.6 kPa,相同的荷载条件下计算出的沉降量比静载试验得出的沉降量值偏大,但仅偏大 5% 左右。但从总体来看,计算所得的结果

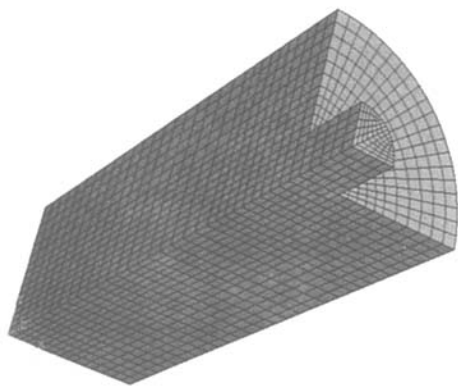


图 5 138#桩有限元计算剖分模型

Fig. 5 Part Finite element model of the 138th pile

表 1 土体 Mohr - Coulomb 本构模型参数

Table 1 Physical parameters of Mohr - Coulomb soil

土层名称	E /MPa	μ	ρ /(kg · m ⁻³)	$\varphi/(^{\circ})$	C /kPa
淤泥	4	0.41	2 730	14	45
中、重粉质壤土	6.3	0.39	2730	17	60
淤泥质中粉质壤土	9.6	0.37	2730	20	56
重粉质壤土	12	0.35	2 730	19	62
粉土	13	0.3	2 750	23	68

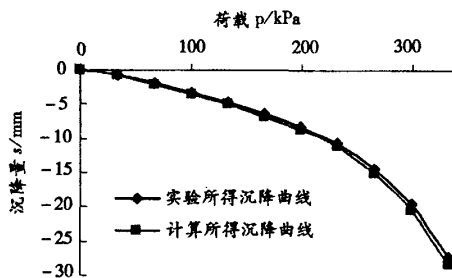


图 6 计算与静载试验得出的沉降曲线对比

Fig. 6 The settling curve which is calculated contrast with the one which is obtained by static loading test

与试验的结果比较吻合。

3 结论

(1)通过对粉喷桩做静载试验所得的试验结果可以看出,复合地基在加荷初期处于弹性工作阶段。在所加荷载为 2 倍设计荷载时,地基还未达到极限工作状态。在荷载为承载力标准值时,复合地基的沉降量并不大。且通过有限元计算所得的沉降曲线与试验所得的曲线基本吻合,由此

更进一步证实了粉喷桩加固粉土地基有较好的效果,能够提高地基的承载力,有效地减少复合地基沉降。

(2)利用 ABAQUS 软件对复合地基进行有限元计算所得的值比实测值大 5 % 左右,比较贴近实测值,可作为工程校核手段。

参考文献:

- [1] 叶建良,汪国香,吴翔,等. 桩基工程[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000.
- [2] 张建青,刘焕存. 水泥搅拌法在非软土地基处理中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [3] 马福雷,程兴远,张革军. 粉喷桩加固地基有限元计算与实测对比分析[J]. 山西建筑,2006,32(23):104-105.

The Static Loading Test and The Finite Element Analysis of DJM Pile

ZHANG Hao,ZHANG Xian,GUO Jia - peng

(College of Civil Engineering,Hohai University,Jiangsu Nanjing 210098,China)

Abstract: With the development of China's economy and the growing scale of China's infrastructure construction, more highways, bridges, houses, etc. need to be built on the soft ground. There are various methods for managing soft ground, and many economical and effective methods have been widely used in engineering, Dry Jet Mixing method is one of them. In this paper, the static loading test is done to the DJM piles which are used in the Xinhugouhan Engineering in Gu Town, and the numerical evaluation calculation on the single dry - cement Jet mixing pile composite foundation is made by means of the finite element method (FEM). A good agreement has been found between the results of finite element calculation and measured data.

Keywords: DJM pile; static loading test; finite element analysis; soft soil foundation; settlement