

深厚吹填软土区复合地基沉降控制技术研究

任康¹, 唐俊华², 许四法¹, 王哲¹, 崔涵晟¹, 袁静³

(1. 浙江工业大学岩土工程研究所, 浙江 杭州 310023; 2. 腾达建设集团股份有限公司, 上海 200091;
3. 浙江省建筑设计研究院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 沿海地区深厚吹填软土区修建工程通常会遇到沉降量大和差异沉降较大的问题, 这不仅给桥梁等结构施工带来困难, 也可能在日后运营期间产生地基不均匀沉降、表面开裂等问题。应对这样的研究背景, 对地基进行加固处理是非常必要的。基于台州新区某桥梁项目的勘察资料, 利用有限元软件 MIDAS-GTS-NX 建立三维模型, 对预实施施工工况进行数值模拟, 并将模拟结果进行分析。结果表明: 采用高压旋喷桩加固软土地基, 可有效控制地基沉降; 在桩身长度超出一个阈值后, 桩长对软土地基的沉降控制效果会减弱。

关键词: 高压旋喷桩; 吹填软土; 地基处理; 数值模拟

中图分类号: TU44 文献标识码: A 文章编号: 2096-7195(2020)02-0121-05

Settlement control technology of composite foundation in deep dredged soft soil

REN Kang¹, TANG Jun-hua², XU Si-fa¹, WANG Zhe¹, CUI Han-sheng¹, YUAN Jing³

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;
2. Tengda Construction Group Co., Ltd. Shanghai 200091, China;
3. Zhejiang province institute of architectural design and research, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Projects in deep dredged soft soil in coastal areas usually encounter problems of large and differential settlement, which not only bring difficulties to the construction of bridges and other buildings, but may also cause uneven settlement of the foundation and surface cracking during the life of the bridge. In these cases, it is necessary to reinforce the foundation. Based on the survey data of a bridge project in Taizhou New District, a three-dimensional model was established by using the finite element software MIDAS-GTS-NX. The pre-implemented construction conditions were numerically simulated, and the simulation results were analyzed. The results showed that the settlement of soft soil foundation could be effectively controlled by using high-pressure jet grouting pile. When the length of pile exceeds a threshold value, the settlement control of pile length on soft soil foundation will be weakened.

Key words: high pressure jet grouting pile; dredger soft soil; ground treatment; numerical simulation

0 引言

国家对江浙沿海“一带一路”地区的交通道路大力开发, 台州作为古代“海上丝绸之路”的发祥地之一, 正处于一个发展的黄金时期。滨海地区道路、桥梁项目经常会遇到特殊的工程地质条件, 尤其是深厚吹填软土区。吹填软土具有高含水率、孔隙较大、压缩性高、抗剪强度低、易发生不均匀沉降等特点, 这就给道路、桥梁施工带来了极大的挑战。深厚软土地区建筑工程事故不少是由于沉降过大, 特别是不均匀沉降过大引起的。因此, 许多工

程会采用复合地基来减少沉降。在众多处理方式中, 高压旋喷桩凭借其经济实用的性能, 简单灵活的设计方法, 以及施工中基本不产生环境污染等优点, 已成为软土地基处理的常用方法之一。

国内外学者已对高压旋喷桩复合地基进行了大量的研究, 也取得许多的成果。主要的研究方法有理论分析法、数值仿真法、模型实验法、现场实测法等。李小杰^[1]以具体工程为背景, 以准确的承载力与沉降量实测资料为依据, 对高压旋喷桩复合地基的承载力、沉降量实测值与计算值进行了对比与分析。文松霖等^[2]采用有限元解析手段, 研究分

析了粉细砂地层条件下置换率、计算模型、加固宽度对搅拌桩复合地基沉降变形特性的影响。安关峰等^[3-4]基于 MIDAS-GTS-NX 软件,研究了旋喷群桩的布置方式、桩弹性模量、桩长、桩径、桩距、内摩擦角等参数对复合地基承载力、沉降的影响。贺文波^[5]采用 ABAQUS 软件对比软土地基在旋喷桩施工前后的沉降,分析其加固效果。邵琪琳等^[6]利用 MIDAS 有限元软件,建立加筋复合地基固结沉降计算模型,对不同工法下的复合地基进行数值模拟,采用二维固结分析计算,研究了复合地基的沉降变化规律、超静孔隙水压力消散规律以及固结度规律。上述研究结果都表明了高压旋喷桩加固软基效果明显。目前,国内外学者运用有限元软件做了许多地基沉降的模拟,研究不同土质地基沉降的规律和机理,为相关工程提供参考。但关于在深厚吹填软土区中,对施工过程中各个施工工序施作产生的地基沉降全过程模拟鲜有报道。

本文根据工程实际情况,采用三维有限元分析技术研究桥梁上部结构施工过程中对地面沉降的影响,分别计算地基不进行任何处理、采用 14 m 高压旋喷桩处理、采用 30 m 高压旋喷桩处理 3 种工况下,施工过程中各个施工工序施作产生的地基沉降,探讨深厚吹填软土区地基的沉降特征,对比 3 个工况的模拟结果,分析其加固效果,为类似的建设提供参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

工程场地位于台州东部新区月湖以西区域,桥

梁桥址区周边空旷。所建桥梁拟采用预应力混凝土鱼腹式等截面箱型连续梁。本工程聚贤路跨绿轴桥模板最大支架跨度 35 m,集中线荷载 44.77 kN/m,属于超过一定规模的危险性较大的模板工程及支撑体系。

1.2 拟定施工方案介绍

由于施工条件限制,施工单位拟采用满堂支架施工的方法:(1)在复合地基的基础上铺设塘渣和混凝土垫层;(2)在混凝土上搭设满堂支架及模板和钢筋;(3)预压 1.1 倍上部荷载;(4)卸荷;(5)在模板上施工箱梁结构。

如图 1 所示,复合地基中高压旋喷桩的直径、桩长及水泥掺量分别为 0.6 m、12 m、28%,但是在布置间距上有所不同。在桥墩部分桩间距 1.3 m,桥墩两侧区域桩间距 1.6 m。

1.3 工程地质

桥址区均位于吹填区,土质条件较差,有较厚的淤泥质粘土,厚度 23.90~28.10 m,平均厚度 26.00 m,局部表层回填素填土,地层断面图如图 2 所示,土体参数如表 1 所示。

表 1 各土层物理力学指标

Tab. 1 Physical and mechanical properties of soil layer

土层	E/kPa	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	c/kPa	$\phi/^\circ$
吹填土	8 100	17.7	7.2	2.2
③-1 淤泥质黏土	8 400	17.9	7.9	2.7
③-2 淤泥质黏土	7 500	17.3	7.2	2.4
⑤黏土	9 900	17.8	15.9	5.3
⑥-1 粉质黏土	17 100	19	32.5	11.3
⑥-2 粉质黏土	16 800	19	27.8	9.4

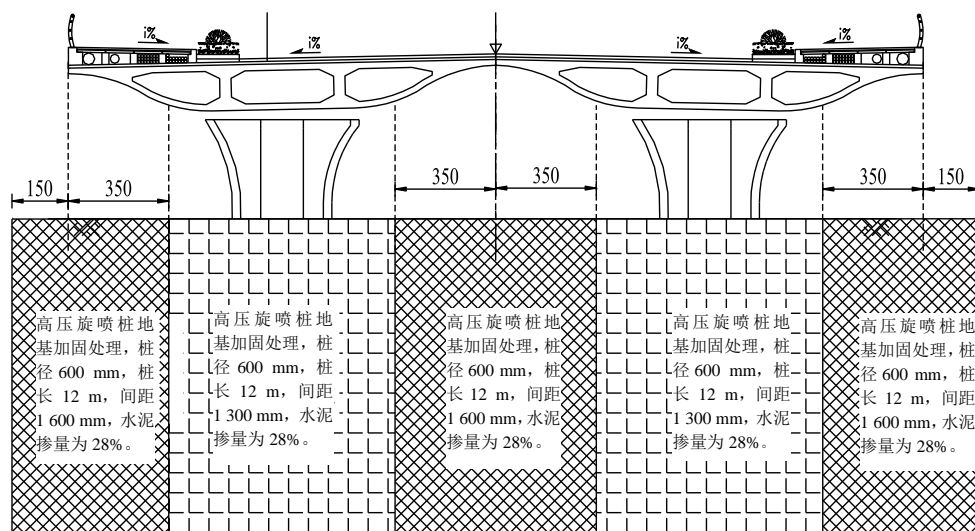


图 1 地基加固横断面图

Fig. 1 Cross section of foundation reinforcement

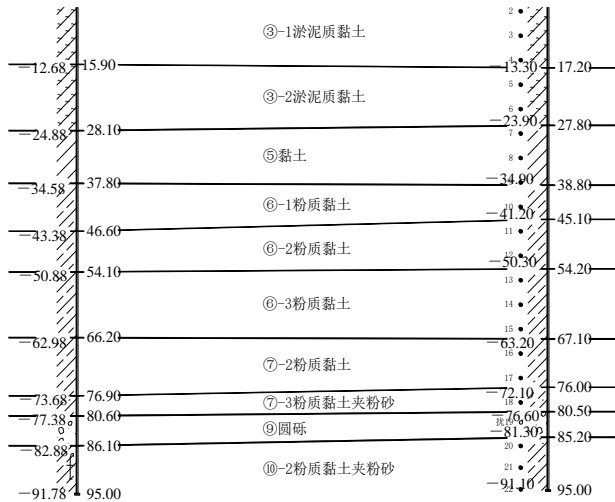


图2 地层剖面图
Fig. 2 Stratigraphic section

2 有限元数值模拟分析

在桥梁箱梁的施作过程中,满堂脚手架、支模模板、钢筋及上部结构混凝土等荷载将直接作用在地基上。上部荷载的存在将使地基产生较大的沉降和不均匀沉降。工程沉降或不均匀沉降过大,不仅给施工带来困难和不便;也会在施工或建筑后期运营期间产生不必要的安全问题,造成额外损失。因此有必要预估桥梁桥址区上部结构施作对地表沉降的影响。

2.1 假定条件

本模型按施工阶段分步模拟计算地基沉降。支架模板和钢筋在模型中的尺寸和重度是根据均布压力计算的,只反映自重值,不考虑真实的尺寸情况。箱梁在模型中的尺寸是根据浇混凝土方量计算的,只反映自重值,不考虑真实的尺寸情况。

2.2 建立计算模型和边界条件

根据实际工程,模型共模拟了6层土体(①吹填土、③₁淤泥质黏土、③₂淤泥质黏土、⑤黏土、⑥₁粉质黏土、⑥₂粉质黏土,土体力学参数详见表1)。如图3所示,模型网格采用混合型网格,共包含90677个网格单元和51795个节点单元。此外,约束上除了对模型四周添加x,y向约束和地面添加x、y、z向约束外,还对高压旋喷桩进行了RZ方向的转动约束。地基旋喷桩布置如图4所示,模型上部结构材料参数如表2所示。模拟时将整个施工过程定义成4个施工阶段,分别是(1)塘渣施工完成;(2)垫层施工完成;(3)支架施工完成;(4)箱梁施工完成。

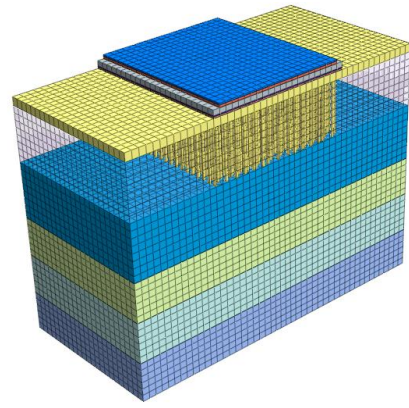


图3 MIDAS 模型图
Fig. 3 Midas model

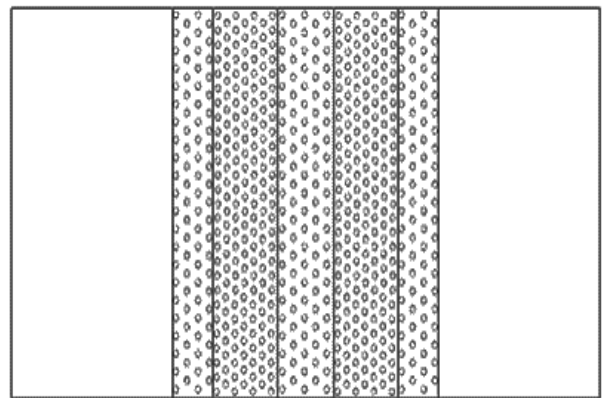


图4 旋喷桩布置设计图
Fig. 4 Layout design of jet grouting pile

表2 结构材料参数
Tab. 2 Structural material parameters

材料名称	长/ m	宽/ m	高/ m	弹模/ MPa	重度/ (kN/m ²)
塘渣	35	33	0.5	400	18
混凝土垫层	35	33	0.2	28 000	23
支架、模板和钢筋	35	33	1.15	5 000 000	5
箱梁结构	35	30	0.874	34 500	23

2.3 有限元计算结果分析

模型按照采用30m高压旋喷桩、采用14m高压旋喷桩、地基未进行任何处理3种工况进行模拟。以采用30m高压旋喷桩的计算结果为例,从图5中可以看到,随着上部荷载的增加,地基沉降是不断增加的,且是不均匀沉降的。第1步塘渣施作完成后,地基已发生沉降,沉降值为7.08mm,在垫层、支架、箱梁施工完成后,所对应的最大地基沉降值分别为12.82mm、19.23mm、39.56mm。

采用14m高压旋喷桩处理、未进行地基处理这2种工况下地基沉降云图与采用30m高压旋喷桩处理工况下的云图类似。采用14m高压旋喷桩

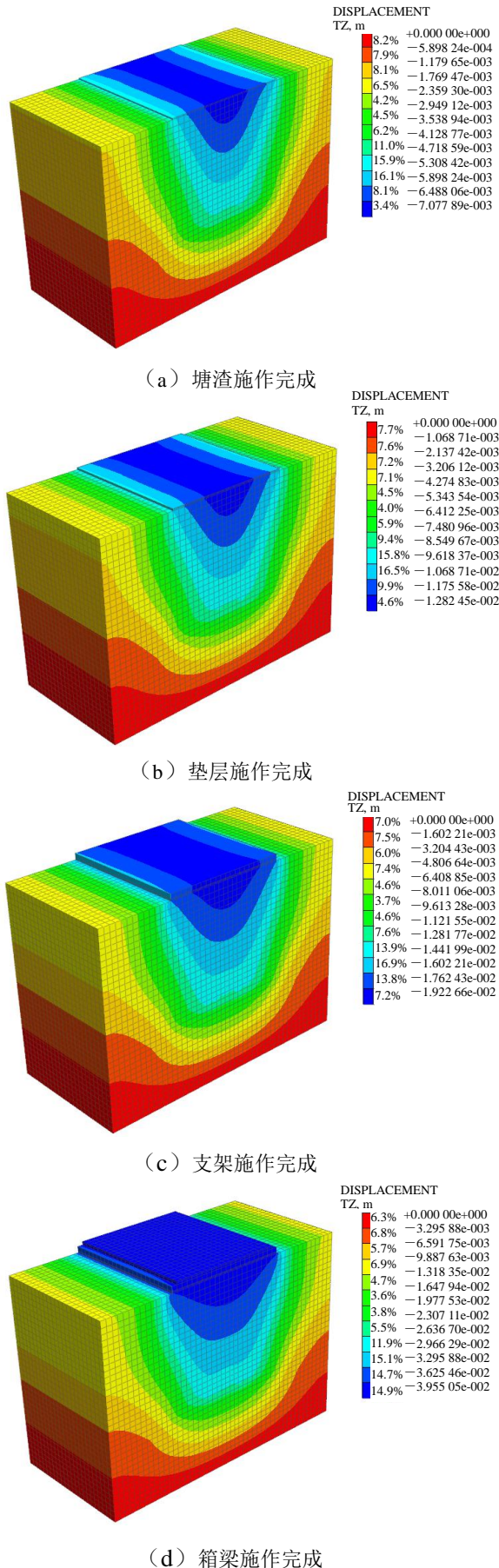


图5 采用30 m旋喷桩处理地基沉降云图

Fig. 5 Settlement contour of foundation with 30 m depth jet grouting treatment

处理下的地基在塘渣、垫层、支架、箱梁施工完成后的最大沉降量分别是 9.94 mm、17.96 mm、26.44 mm、54.11 mm；未进行地基处理工况下的地基在塘渣、垫层、支架、箱梁施工完成后的最大沉降量分别是 15.27 mm、27.74 mm、40.94 mm、91.96 mm。3种工况沉降曲线如图6所示。

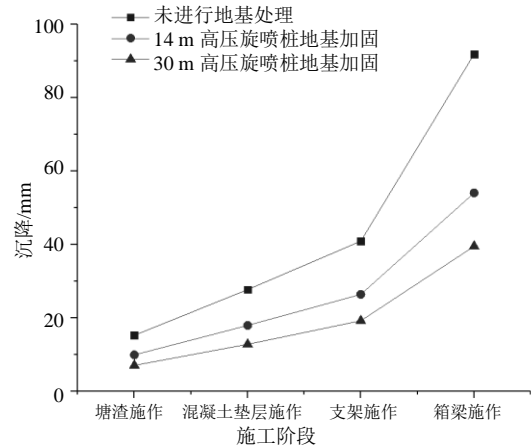


图6 3种工况沉降对比图

Fig. 6 Comparison of settlement under three treatment Conditions

3 讨论

根据图6进行分析,对比未进行地基处理与14 m高压旋喷桩地基加固的曲线可以发现,施工过程中总体沉降均明显减小,说明旋喷桩加固软土地基能够有效控制其沉降。

对比14 m高压旋喷桩地基加固和30 m高压旋喷桩地基加固的曲线,不难发现后者的最终沉降虽小于前者,但是效果并不十分明显。

4 结论

(1) 根据Midas模型分析结果,对比软土地基在加固前后的沉降曲线,说明了旋喷桩加固软土地基能够控制地基沉降。

(2) 在吹填软土区进行地基加固的时候,桩长对地基沉降的效果并不是随着桩长的增加而增大,应该是存在一个阈值,当桩长超过这个阈值后,其控制沉降的效果会减小。

(3) 在吹填土区采用高压旋喷桩进行地基处理时,应考虑桩长对复合地基沉降的效果,在满足工程需要的前提下,尽量使桩长不超过桩长对地基沉降控制的阈值,以降低成本。

参考文献

- [1] 李小杰. 高压旋喷桩复合地基承载力与沉降计算方法分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(9): 1499-1502.
- [2] 文松霖, 姜志全, 张明光. 水泥搅拌桩复合地基沉降计算分析[J]. 岩土工程界, 2008, 11(1): 41-44.
- [3] 安关峰, 张洪彬, 刘添俊. 地基土参数对旋喷群桩复合地基承载特性影响的数值分析[J]. 特种结构, 2010,

27(6): 42-45.

- [4] 安关峰, 张洪彬, 刘添俊. 旋喷群桩复合地基承载特性的数值分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(3): 906-912.
- [5] 贺文波. 沪通铁路软土地基旋喷桩加固效果分析[J]. 铁道建筑, 2018, 58(9): 76-79.
- [6] 邵琪琳, 时伟, 刘强森, 景园. 基于MIDAS的加筋垫层复合地基变形的研究分析[J]. 青岛理工大学学报, 2019, 40(2): 16-21.

【简讯】

第十一届全国基坑工程研讨会（二号通知）

第十一届全国基坑工程研讨会将于 2020 年 10 月 30 日—11 月 2 日在四川省成都市召开, 为了更好地举办大会, 现发出会议二号通知。

会议类型: 学术会议

会议名称: 第十一届全国基坑工程研讨会

会议时间: 2020 年 10 月 30 日—11 月 2 日

会议地点: 成都市

联系人: 钟静

联系电话: 028-82887990/13980567852

电子邮件: jikeng2020_cscec@163.com

一、主办单位:

中国建筑学会建筑施工分会基坑工程技术部

二、承办单位:

中国建筑西南勘察设计研究院有限公司

三、会议主题:

(1) 基坑工程设计理论与实践及其新进展、行业的发展趋势;

(2) 基坑工程施工和监测领域的新技术、新工法和新设备;

(3) 基坑工程及特殊岩土层中的地下水问题及控制技术;

(4) 基坑施工对周围环境的影响评估与控制技术;

(5) 地铁深基坑工程中的设计、施工与监测技术;

(6) 膨胀土等特殊土地区基坑设计与施工的关键技术;

(7) 深基坑工程支护结构与降水相关问题数值模拟研究;

(8) 超深基坑工程的设计、施工与监测的关键技术;

(9) 基坑工程领域的信息化技术及其应用;

(10) 特、重、大基坑工程的典型案例和基坑工程事故分析。

四、会议日程安排:

2020 年 10 月 30 日—11 月 2 日。10 月 30 日报到, 会议时间 2 天, 项目参观半天。

五、会议地点:

会议酒店待定。

六、大会注册缴费指南:

参会代表通过本次大会官网或者关注官微进行登记注册。

官网: <http://jkgc.scimeeting.cn/cn/web/index/230>

官微: 第十一届全国基坑工程研讨会。

7 月 31 日前完成注册, 会务费每人 1 200 元, 研究生和家属代表每人 600 元。

7 月 31 日—10 月 30 日完成注册, 会务费每人 1 500 元, 研究生和家属代表每人 800 元;

七、会议参展:

会议期间将设立岩土工程新仪器、新技术、新材料、新软件等方面的展览, 热烈欢迎相关公司和单位参加, 参展报名截止日期为 2020 年 8 月 30 日。

八、联系方式:

钟 静: 028-82887990、13980567852

(会务统筹、招商参展)

陈继彬: 028-82888175、13541323618 (论文报告)

代如玉: 028-82888076、18080822405 (酒店住宿)

兰明鑫: 028-82888120、13709010632 (会议接待)

陈春霞: 028-82888054、13551009034 (项目参观)

地 址: 四川省成都市成华区航天路 33 号 15 楼设计研发中心。邮编: 610052