

桩长对水泥搅拌桩加固效果影响的数值研究

严俊进

常熟市交通工程管理处, 江苏 常熟

收稿日期: 2022年3月25日; 录用日期: 2022年4月14日; 发布日期: 2022年4月29日

摘要

长三角地区的道路工程建设不时遇到软土, 此类软土的厚度分布不均匀, 主要成分为淤泥质土、粉质粘土和粉砂土, 具有显著的区域特征, 复合地基法在处理用作此类软土地基区域具有施工周期短、处理效果好等明显特点。目前水泥搅拌桩是目前长江三角洲软土地基复合地基处理的一种典型方法。数值试验作为岩土工程主要研究方法, 在工程应用中已日趋成熟。研究基于524国道常熟莫城至辛庄段改扩建工程为依托, 根据实测详细勘察阶段的工程地质勘察的岩土参数设定固定的参数模型, 以桩身长度为变量, 通过数值试验的方法研究水泥搅拌桩桩长对复合地基加固效果。

关键词

软土地基, 道路工程, 水泥搅拌桩, 桩长, 数值分析

Numerical Study on Influence of Pile Length on Reinforcement Effect of Cement Mixing Pile

Junjin Yan

Changshu Traffic Engineering Management Office, Changshu Jiangsu

Received: Mar. 25th, 2022; accepted: Apr. 14th, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

The road engineering construction in the Yangtze River Delta region often encounters soft soil. The thickness of this kind of soft soil is unevenly distributed, and the main components are muddy soil, silty clay and silty sand, which has significant regional characteristics. The composite foundation method has the obvious characteristics of short construction period and good treatment ef-

fect in treating the area used as this kind of soft soil foundation. At present, cement mixing pile is a typical method for foundation treatment of composite foundation in soft soil area of Yangtze River Delta. As the main research method of geotechnical engineering, numerical test has become more and more mature in engineering application. Based on the reconstruction and expansion project of Changshu Mocheng Xinzhuang section of national highway 524, a fixed parameter model is set according to the geotechnical parameters of engineering geological survey in the measured detailed survey stage, and the effect of cement mixing pile length on composite foundation reinforcement is studied by numerical test with pile length as variable.

Keywords

Soft Soil Foundation, Road Works, Cement Mixing Pile, Pile Length, Numerical Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

道路工程建设中,软土地基的处理是一项既常见又复杂的问题[1],大量的工程实践表明,性能稳定的水泥搅拌桩依旧是软土地基处理的首选[2][3];而且已在当前研究进展中,较多关注在成桩质量检测手段的合理选择、施工现场监测方法[4][5][6][7]等,但在长江三角洲地区,软土地基的处理需要深入研究该地区的软土性质成因、工程特性及软土的物理性质的基础上,针对于该地区公路工程领域中软基处理工程,进行软基处理问题、软基处理的研究是设计之前最严谨和必须的环节。常熟地区地处长三角区域的核心区域,其不良地质现象及特殊性岩土占比较大,限于设备和成本因素,需要限制桩长,因此,需要在基于现有土层的情况,专门研究水泥搅拌桩桩长对复合地基加固效果。本次研究将以常熟市 524 国道常熟莫城至辛庄段改扩建工程为依托,针对长江三角洲地区软土地基处理做进行实体工程、示范工程等的提供前期支撑数据。

2. 材料参数及本构模型

根据工程详细勘察阶段的工程地质勘察说明书以及软土地基相关规范[8][9],获得各土层和桩体的计算参数,见表 1 所示。

Table 1. Calculation of geotechnical parameters

表 1. 计算岩土参数

材料	弹性模量 E/Pa	泊松比/v	重度 $\gamma/\text{kN/m}^3$	渗透系数			黏聚力/c	摩擦角/deg
				kx	ky	kz		
褥垫层	1e8	0.25	19.5	8.10e-5	8.10e-5	8.10e-5	0	40
淤泥粉质黏土	3.83e6	0.3	17.5	5e-7	5e-7	5e-7	13.5e3	9.2
粉砂	9.53e6	0.3	18.6	3.47e-5	3.47e-5	3.47e-5	7.3e3	27.1
黏土	12.55e6	0.35	19.1	8.68e-7	8.68e-7	8.68e-7	5.7e3	30.0
桩体	1.2e10	0.15	17	0	0	0	2e4	15
填土	8e6	0.33	15	0	0	0	10e3	15

在接下来的数值试验参数设计中, 将各土层设置为理想的弹塑性模型, 破坏采用 Mohr-Coulomb 准则[10]。桩体采用弹性模型, 渗流模型中, 桩体和填土认为是不透水的[11] [12], 渗透性系数为 0, 其他材料满足达西定律[13]。

3. 数值试验方案设计

选取典型软土地区道路工程中选取的试验段具有代表性的三个剖面, 进行有限元分析, 同时对该段地层进行简化, 地层分为淤泥层厚度分别为 11 m, 14 m 和 17 m, 再进行建模处理, 根据初步设计为基准, 路基宽度取值 63 m。同时认为桩达到持力层深度 1.0 m, 故桩长分别为 12 m、15 m 和 18 m。褥垫层厚度取 0.3 m。对褥垫层, 桩体和天然土体采用 8 节点 6 面体等参单元, 离散后模型如图 1 所示。

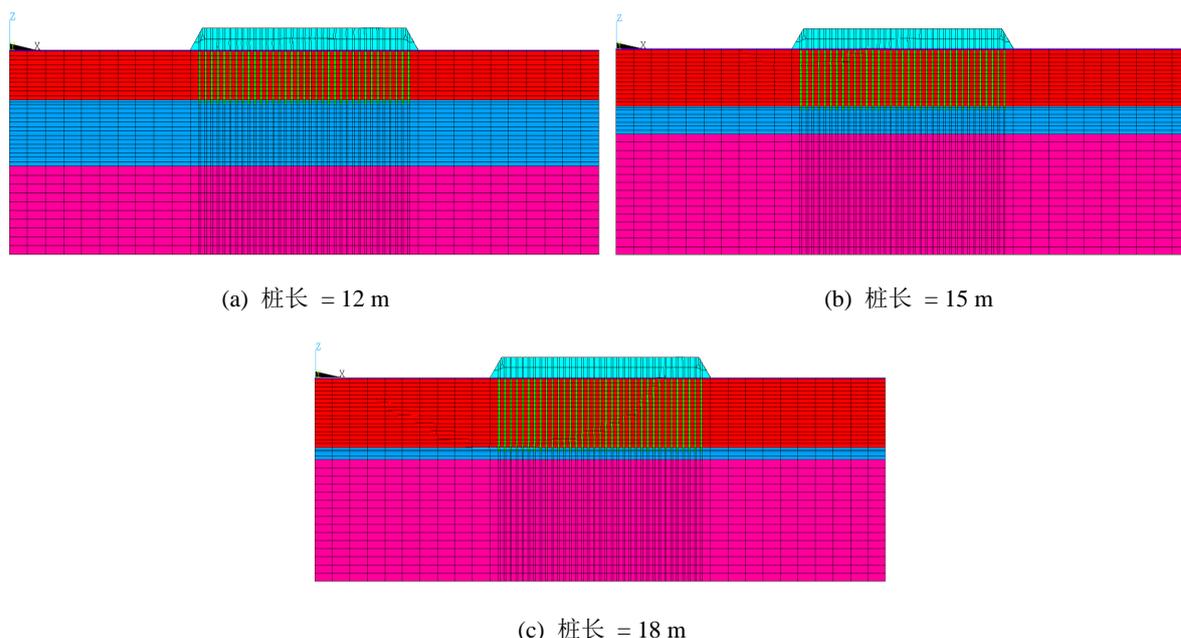


Figure 1. Finite element model of composite foundation with different pile lengths
图 1. 不同桩长复合地基有限元模型

4. 计算结果分析

4.1. 桩长对基础沉降的影响

图 2 为填高为 5 m 时, 路基沉降位移云图。可以看出, 位移以模型中心线为对称向两侧逐渐减小。图 3 为不同桩长地面沉降曲线, 在填土荷载作用下, 路基呈“漏斗”形, 桩长为 12 m, 15 m 和 18 m 时, 最大沉降位移为 13.3, 14.1 和 14.9 cm, 增加率分别为 0.26, 0.26。

图 4 为最大沉降值随时间变化曲线。从图中可以看出, 在固结初期, 沉降加速发展, 当时间达到 500 d 左右时, 其后发展速度减小, 有逐渐趋于稳定的趋势。固结 3 年后, 土体变形已基本稳定。

图 5 为不同桩长填土高度与沉降的关系。最大沉降量受到填土高度的影响较为明显, 呈现随填土高的增加而线性增长的规律。在相同填土高度下, 桩长对沉降量影响不明显, 但总体上呈现出桩越大, 沉降量越大的特点。然后这个沉降量不能说明水泥搅拌桩对软土的加固效果, 因为各层淤泥厚度不一样。为了能客观说明水泥搅拌桩的效果, 采用沉降量与淤泥层厚度的比值 s/h_s 来量化, 根据模拟结果, 建立

不同桩长和 s/h_s 的关系, 见图 2 所示。从图中可以看出, 桩长越长, s/h_s 越大, 说明桩长是控制复合地基的一个主要原因。

4.2. 桩长对桩上竖向应力分布影响

图 6 展示了不同桩长下复合地基竖向应力云图。从图中可以看出, 随着深度的增加, 应力值越来越大, 同时, 靠近水泥土搅拌桩的土体应力值较大, 且应力值范围也较大。但随着桩长的增加, 桩上和桩间土应力值也越大, 增加率分别为 138, 256。主要原因在于淤泥层厚度的增加。

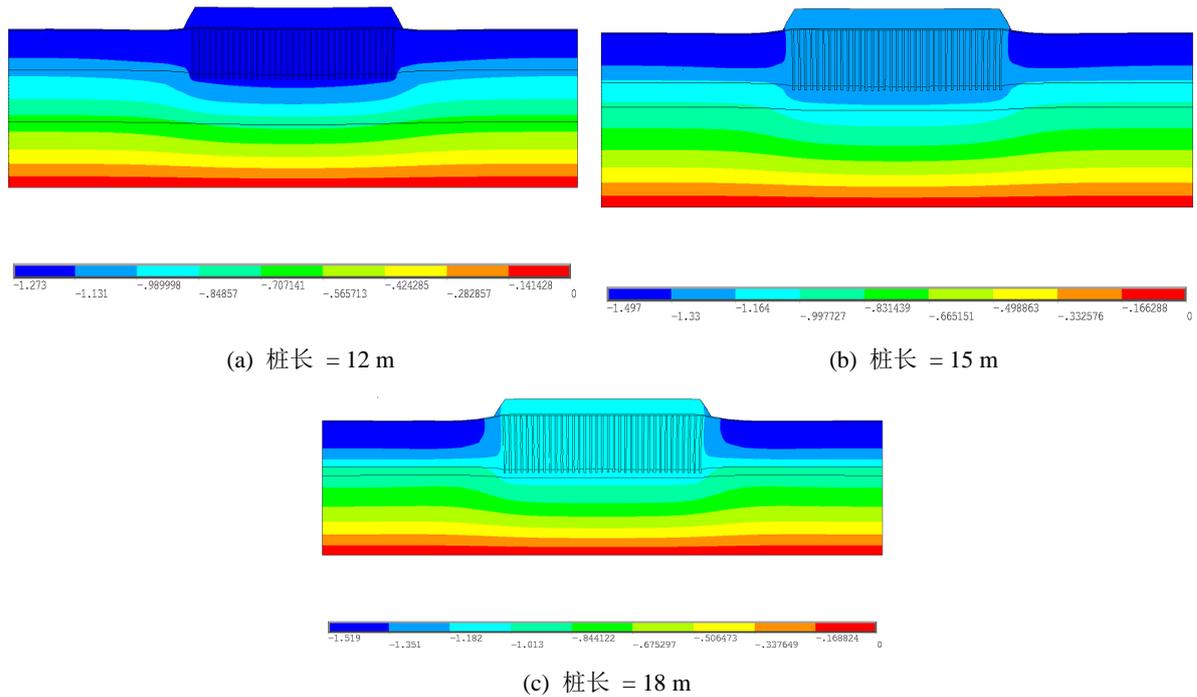


Figure 2. Cloud diagram of settlement of different pile lengths when the filling height is 5 m
图 2. 填土高度为 5 m 时不同桩长沉降云图

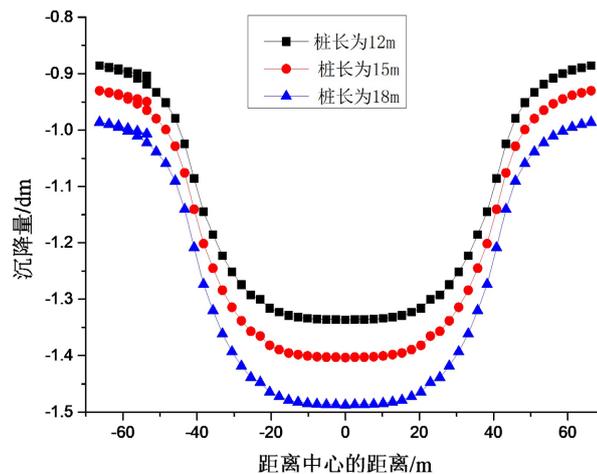


Figure 3. Settlement curve of foundation with different pile length when filling height is 5 m
图 3. 填高 5 m 时不同桩长基础沉降曲线

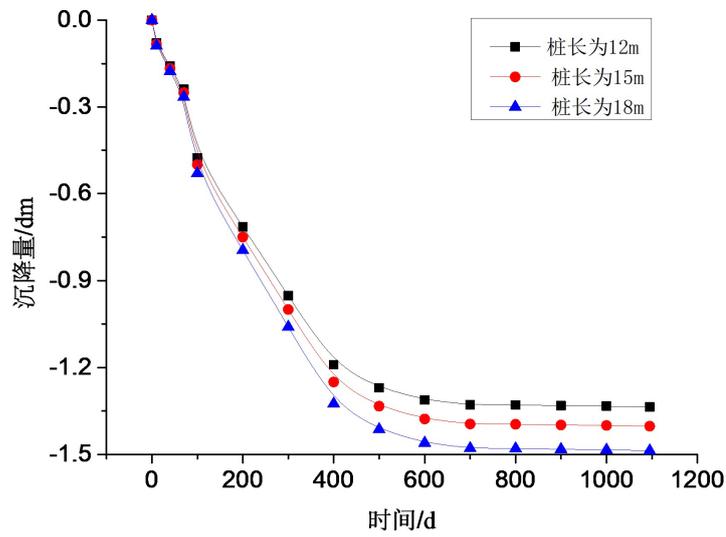


Figure 4. Settlement curve of different pile lengths with time when the filling height is 5 m

图 4. 填高 5 m 时不同桩长沉降随时间变化曲线

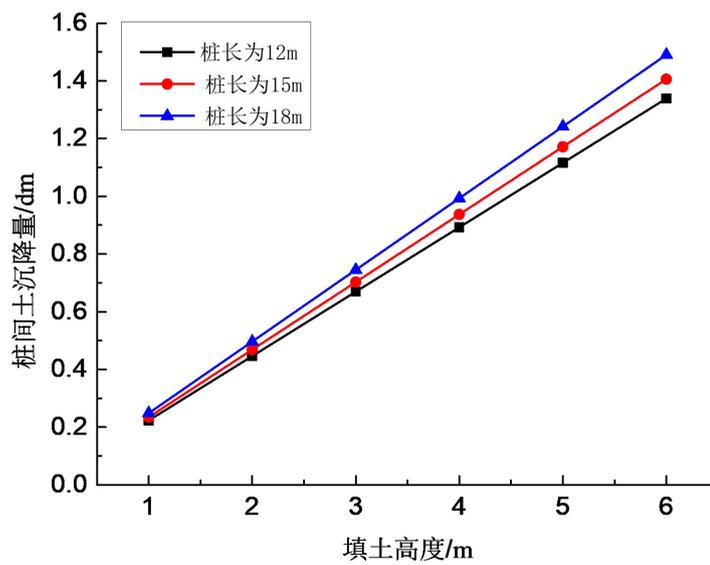
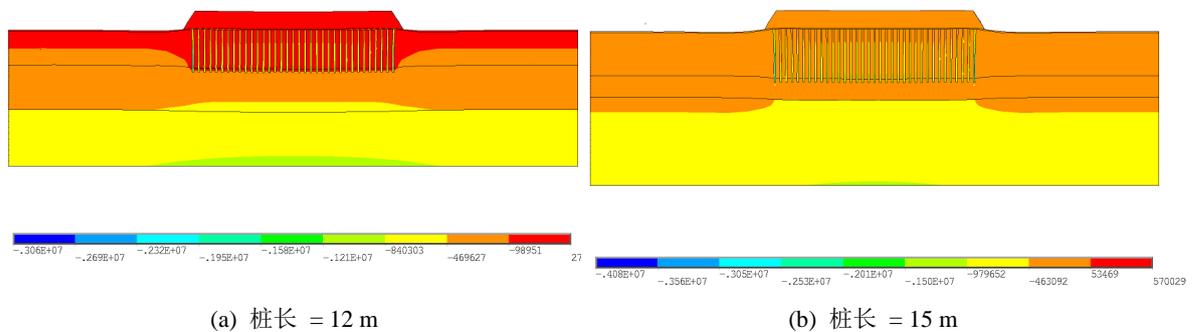


Figure 5. Relationship between settlement of different pile lengths and filling height

图 5. 不同桩长沉降量与填土高度关系图



(a) 桩长 = 12 m

(b) 桩长 = 15 m

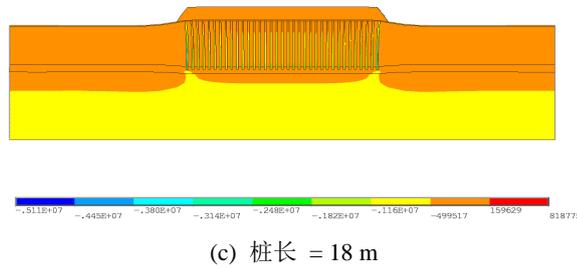


Figure 6. Cloud diagram of vertical stress of different pile lengths when the filling height is 5 m
图 6. 填土高度为 5 m 时不同桩长竖向应力云图

4.3. 桩长对桩土应力比的影响

图 7 为不同桩长的复合地基桩土应力比 $\delta_{\text{桩}}/\delta_{\text{土}}$ 图。

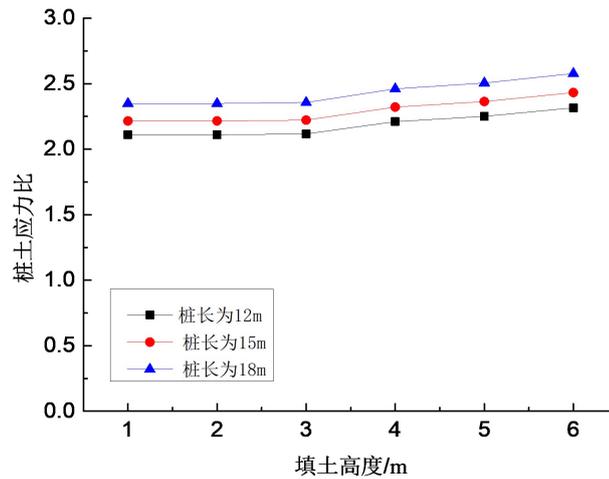


Figure 7. Relationship between pile-soil stress ratio and filling height of different pile lengths
图 7. 不同桩长桩土应力比与填土高度关系图

可以看到，随着填土高度的增加，荷载分担比逐渐增大。而桩长对桩土应力比的影响表现出随基础宽度的增大而增大的规律。表明桩越长，越能改善桩间土应力状态，从而达到保护地基的目的。

5. 结语

通过在固结计算条件下对模型进行数值计算，选取 12 m、15 m 和 18 m 桩长，研究了 524 国道常熟莫城至辛庄段改扩建工程软土地基处理中不同桩长对最终加固效果的影响。由于当水平荷载较小时，桩体沉降量与竖向荷载表现为较好的线性关系，此时桩周土处于弹性状态；当水平荷载较大时，随着竖向荷载的增加，桩体沉降量与竖向荷载关系从线性关系转为非线性，竖向荷载越大，曲线的弯曲幅度越大，再依据模拟数据分析得出以下结论：

- 1) 桩长与沉降呈正相关，沉降值增加率最大达到 0.26 cm/m。同时，桩长与竖向应力正相关，应力值增加率最大达到 256 Pa/m；
- 2) 随着深度的增加，应力值越来越大，同时，靠近水泥土搅拌桩的土体应力值较大，且应力值范围也较大；
- 3) 桩长对桩土应力比的影响表现出随基础宽度的增大而增大的规律，桩身越长越能改善桩间土应力

状态,对长三角软土地地区的地基保护效果越好。

参考文献

- [1] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 刘汉龙, 赵明华. 地基处理研究进展[J]. 土木工程学报, 2016, 49(1): 96-115.
- [3] 徐杰. 地基处理新技术及发展趋势[J]. 工程技术: 引文版, 2016(7): 00198-00199.
- [4] 董宗耀. 水泥搅拌桩在城市道路软基处理中的应用分析[J]. 世界家苑, 2022(4): 94-96
- [5] 宇珂, 王栋, 黄志滨, 等. 水泥搅拌桩在滨海软土地基加固中的应用分析[J]. 路基工程, 2021(1): 174-178.
- [6] Yang, X., Zeng, X.W., Wang, X.F., Berrila, J. and Li, X.Y. (2019) Performance and Bearing Behavior of Monopile-Friction Wheel Foundations under Lateral-Moment Loading for Offshore Wind Turbines. *Ocean Engineering*, **184**, 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.05.043>
- [7] Teramoto, S., Niimura, T., Akutsu, T. and Kimura, M. (2018) Evaluation of Ultimate Behavior of Actual Large-Scale Pile Group Foundation by *In-Situ* Lateral Loading Tests and Numerical Analysis. *Soils and Foundations*, **58**, 819-837. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.03.011>
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 194-2013, 城市道路路基设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. JTG D30-2015, 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [10] 黄兴安. 公路与城市道路设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [11] 潘婷婷. 地基处理新技术及应用[J]. 岩土工程技术, 2017, 31(2): 91-96.
- [12] 华正良. 硬壳层软土地基一维固结特性研究[J]. 公路工程, 2015, 40(1): 225-228+233.
- [13] 浙江省住房和城乡建设厅. GB/T 50783-2012, 复合地基技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.