

考虑排桩支护影响的高层建筑复合地基沉降分析

郭院成, 王会杰, 陆俊虎

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 针对支护结构对高层建筑地基基础沉降变形分布特征的影响, 利用有限元数值模拟手段, 建立考虑排桩支护结构影响的复合地基基础的三维模型, 以地基基础差异沉降为控制指标, 以改变地基变形模量来描述地基支承刚度的空间变化, 讨论排桩支护结构存在条件下, 复合地基支承刚度空间变化对地基基础沉降等值线分布规律的影响。研究表明, 排桩支护结构对地基基础沉降变形分布特征有明显影响, 复合地基基础基于差异沉降控制的空间变刚度设计需考虑支护排桩的作用效应。研究成果对减少建筑物基础边缘部分桩、降低基础差异沉降, 有效改善筏板和上部结构次应力具有一定的理论指导意义。

关键词: 地基基础; 沉降变形; 排桩支护结构; 数值模拟; 设计选型

中图分类号: U 451.3

文献标识码: A

0 引言

基坑支护结构属临时性结构, 在基坑开挖期间作为挡土稳定性结构, 但其在建筑物竣工后依然埋在地下, 可能会对建筑物地基的沉降变形有所影响。文献[1]指出支护结构具有分荷、遮拦和环箍效应; 文献[2~5]研究了支护结构对建筑物地基的影响, 指出支护结构存在会减少地基沉降值、提高地基承载力, 并指出支护结构有可能取代边桩, 在基础设计时, 应考虑支护结构的作用。

基坑支护结构对复合地基基础沉降变形的影响研究变得越来越有必要。笔者曾对复合地基基础及桩筏基础空间变刚度设计方法进行了分析研究, 认为采用地基基础的变刚度设计可以减少和控制筏板基础的差异沉降^[6]。利用有限元法, 建立考虑支护排桩影响的复合地基基础的三维模型, 并结合复合地基空间变刚度分布特征, 研究支护排桩对复合地基基础沉降变形分布特征的影响规律。通过对等沉降曲线的对比分析, 探讨排桩支护结构取代建筑物基础边缘部分边桩的可能性, 以达到减少边桩的数量, 降低工程造价的目的。

1 计算模型的建立

本文的数值模拟分析模型把地基中竖向增强

体与土体看作一个复合的整体, 其刚度大小用复合模量来表达。引入如下基本假定: ①不考虑上部结构刚度的空间分布变化, 假定上部结构传至基础顶面的荷载在筏板上均匀分布; ②加固区及周围土体、筏板与下部土体自始至终紧密接触, 即在变形过程中, 它们之间不产生相对滑动或脱离; ③以复合模量来描述复合地基的支承刚度; ④支护结构与基础不连接, 其沉降变形与周边土连续。

模拟计算将基础范围以外部分的土层分为三层, 即基坑底面上部上覆土层、桩长范围内的中间层天然土体、桩端底面以下的下卧层土体。筏板基础下的加固区复合土体分为三部分, 即中心加固区复合土体、过渡加固区复合土体、边缘抽桩范围复合土体, 其复合模量分别用 E_{sp1} 、 E_{sp2} 、 E_{sp3} 表示 (如图1所示)。支护结构、筏板、筏板中心区域加固区土体、筏板边缘加固区土体、边缘抽桩范围复合土体、基坑底面上部上覆土、桩长范围天然土体、桩端底面下卧层土分别形成单元。支护结构、筏板、地基土单元模型选用 8 节点三维结构实体单元 SOLID45, 筏板基础与支护结构取为线弹性体, 复合土体与天然土体均采用 Druker-Prager 弹塑性模型。

计算模型基坑深度取为 6 m, 支护结构采用排桩形式, 有效宽度为 0.9 m, 顶部与自然地面平齐, 排桩入土深度为 6 m, 排桩总长 12 m。筏板体

收稿日期: 2009-03-03; 修订日期: 2009-06-16

作者简介: 郭院成 (1963-), 男, 河南辉县人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事复合地基与深基坑支护工程的教学研究工作, E-mail: Guoyc@zzu.edu.cn

积取为 $40\text{ m} \times 40\text{ m} \times 1.0\text{ m}$. 上部结构传至基础顶面荷载假定为均布荷载,量值取为 200 kPa . 计算区域按计算应力和位移场分布随边界的外扩已无明显变化为确定原则. 本文计算模型的影响宽度取为 $3B$ (B 为筏板宽度), 下卧层土体影响深度取为 $3H$ (H 为加固区桩长).

计算模型复合地基分布如图 1. 空间变刚度布置,采用改变筏板下的中心加固区的复合模量 (E_{sp1}) 在空间的分布特征及不同取值的方法模拟. 筏板边缘的抽桩,采用减少筏板边缘附近抽桩范围复合土体复合模量的方法,即减少 E_{sp3} 值的方法来模拟.

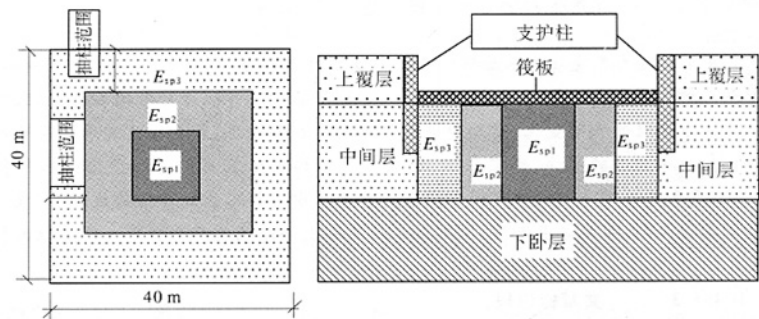


图 1 排桩支护结构布置及复合地基的刚度分布图

Fig.1 Layout of row piles retaining structure and the stiffness distribution of composite foundation

表 1 模拟计算的材料参数

Tab.1 The material parameters of simulation

	压缩模量 /MPa	泊松比	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 /kPa	摩擦角 /($^{\circ}$)	膨胀角 /($^{\circ}$)	深度 /m
筏板基础	25 500	0.2	2 500	—	—	—	1
支护排桩	80	0.3	1 960	—	—	—	12
中心区域加固区复合土体	E_{sp1}	0.3	2 200	40	30	28	15
筏板过渡加固区复合土体	E_{sp2}	0.3	2 200	40	30	28	15
边缘抽桩范围内复合土体	E_{sp3}	0.3	2 200	40	30	28	15
基坑底面以上上覆土层	5	0.4	1 800	10	10	8	6
桩长范围内天然土体	10	0.4	2 000	18	20	18	15
桩端底面以下下卧土层	40	0.35	2 200	40	35	33	60

2 数值模拟结果与分析

2.1 等刚度等长桩沉降分析

筏板下中心加固区、边缘加固区和边缘抽桩范围内复合土体的模量取相同值,且深度相同,本文计算中取加固深度(即桩长)为 15 m . 复合模量分别取为 60 MPa 、 80 MPa 、 100 MPa ,考虑排桩支护结构与不考虑排桩支护结构条件下,复合地基的沉降变形特征,沉降曲线如图 2 所示.

从沉降曲线可以看出:支护结构的存在使基础边缘的沉降值有所减小,而对基础中心部位的沉降变形影响较小,因此复合地基的最大沉降值变化不大,但基础的差异沉降有所增大. 且随着复合模量的增加,支护结构对于最大沉降值的影响基本不变,都只减少 1.8% 左右,而对地基的差异沉降影响逐渐减小. 对于 $E_{sp} = 60\text{ MPa}$ 的复合地

基,差异沉降增加了 20.22% ;而对于 $E_{sp} = 100\text{ MPa}$ 的复合地基,差异沉降只增加了 17.19% ,说明排桩支护结构的对软弱地基沉降变形的影响更为严重.

2.2 变刚度复合地基沉降分析

分别对改变中心加固区域面积和改变中心加固区复合土体复合模量的情况,考虑支护与不考虑支护时沉降曲线进行对比. 计算过程中不考虑抽桩,即 $E_{sp3} = E_{sp2}$. 沉降曲线如图 3 所示.

由图 3 可知:①当筏板边缘加固区复合模量、筏板刚度一定时,提高中心加固区的复合模量,可以减少地基的最大沉降值,而基础边缘附近的沉降值基本不变,从而降低基础的不均匀沉降;②当筏板边缘加固区复合模量 (E_{sp2}) 不变时,随着中心加固区面积的增加(由 6.25% 到 25%) 和中心加固区复合土体复合模量增加(由 60 MPa 到 100

MPa), 支护结构对最大沉降值和差异沉降值的影响增大。

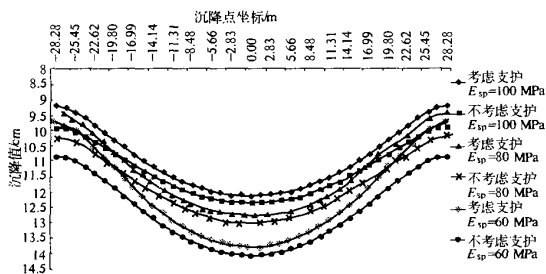


图2 等刚度条件下考虑支护结构存在与否的沉降变形对比曲线

Fig. 2 The comparison of the value of the settlement under equality stiffness circumstances when considering and not considering the retaining structure

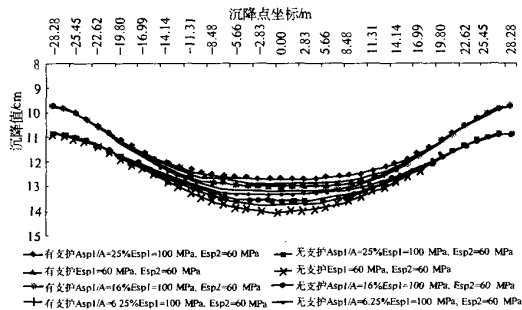


图3 变刚度条件下考虑支护结构存在与否的沉降变形对比曲线

Fig. 3 The comparison of the value of the settlement under varying stiffness circumstances when considering and not considering the retaining structure

2.3 抽桩分析

在复合地基空间变刚度情况下, 进行抽桩分析. 变刚度设计方案为: 中心加固区面积占筏板面积的16%, $E_{sp1} = 100$ MPa, $E_{sp2} = 80$ MPa. 模拟计算中支护桩的参数不变, 变刚度方案相同, 沿筏板边缘四周进行抽桩. 对比分析抽桩数量不变、抽桩范围变化情况下和抽桩范围不变、抽桩数量变化情况下的沉降曲线. 抽桩数量不变、抽桩范围变化指 $E_{sp3} = 80$ MPa 不变, 抽桩范围分别为2 m、4 m、6 m、10 m. 抽桩范围不变、抽桩数量变化情况指抽桩范围固定为边缘4 m以内, E_{sp3} 的值分别取10 MPa、40 MPa、60 MPa、80 MPa. 模拟计算所得沉降曲线如图4、图5所示。

由沉降曲线可知, 当支护桩参数一定, 复合地基其他条件不变时, 筏板边缘一定范围内抽去部分桩体, 对筏板下的最大沉降值影响不大, 还可以

减少差异沉降. 从图4中可以看出, 不考虑支护时 $E_{sp1} = 100$ MPa, $E_{sp2} = E_{sp3} = 80$ MPa 的沉降曲线与考虑支护时抽桩范围为4 m, $E_{sp1} = 100$ MPa, $E_{sp2} = 80$ MPa, $E_{sp3} = 40$ MPa 的沉降曲线基本一致。

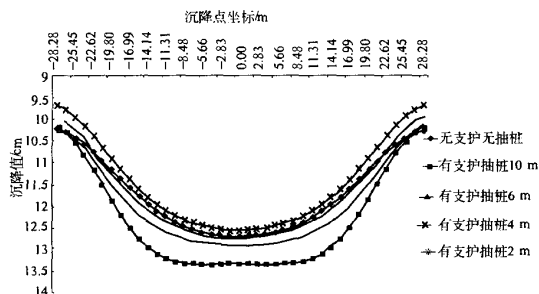


图4 抽桩数量($E_{sp3} = 40$ MPa)不变抽桩范围变化时沉降曲线

Fig. 4 The settlement curve when the amount of the pull out-piles ($E_{sp3} = 40$ MPa) unchanged and the scope of pull out-pile changing

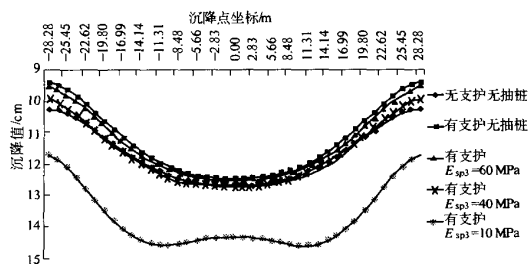


图5 抽桩范围(4 m)不变抽桩数量变化时沉降曲线

Fig. 5 The settlement curve when the scope of pull out-pile (4 m) unchanged and the amount of the pull out-piles changing

随着抽桩范围的增大和抽桩数量的增加, 基础最大沉降值增大, 差异沉降值也相应增大, 所以实际工程中采用抽桩进行变刚度设计时, 抽桩范围和数量应根据上部结构的荷载分布特征及其对沉降变形的控制条件等因素综合确定。

3 结论

(1) 排桩支护结构对复合地基最大沉降值的影响不大, 但会有效降低基础边缘附近的沉降, 使基础的差异沉降有所增加. 对软弱地基情况支护结构对沉降的影响更为显著;

(2) 当采用变刚度复合地基设计时, 中心布桩多、范围大时, 支护结构对最大沉降值和差异沉降值的影响增大. 即考虑支护结构与不考虑支护结构相比, 最大沉降值减少的更多, 差异沉降值增

加的更多;

(3)按沉降变形控制条件,当支护桩参数一定时,复合地基其他条件不变,抽去筏板边缘一部分范围内的桩体,筏板的最大沉降值影响不大,但可有效减少差异沉降.实际工程中抽桩范围及数量,应根据上部荷载的分布形式、沉降控制要求等条件综合确定.

参考文献:

- [1] 董建国,赵锡宏.高层建筑地基基础共同作用的理论与实践[M].上海:同济大学出版社,1997.
- [2] 杨波.深基坑支护结构对提高高层建筑的稳定性及基础承载力的贡献[D].武汉:武汉水利电力大学土木工程学院,1999.
- [3] 茜平一,杨波.深基坑支护结构对提高高层建筑稳定性及其地基承载力的作用研究[C]//张在明.第八届全国土力学及基础工程学术会议论文集,南京:中国土木工程学会,1999.
- [4] 杨波,肖建华.深基坑支护结构与其它结构的共同作用研究[J].人民长江,2002,33(12):16-18.
- [5] 吴贤国,蔡英群.支护结构与上部结构共同作用的分析研究[J].华中科技大学学报,2003,20(3):19-22.
- [6] 郭院成,王会杰,张四化.复合地基基础空间变刚度调平设计方法的数值模拟[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(3):126-128.

Settlement Analysis of Composite Foundation for High-rise Buildings Considering the Effects of Row Piles Retaining Structure

GUO Yuan - cheng, WANG Hui - jie, LU Jun - hu

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Row piles retaining structure will affect the settlement distribution of composite foundation for high-rise buildings. Based on this, by using finite element numerical simulation tools, a simple 3-D FEM model of the composite foundation considering the effects of row piles retaining structure is established. By using differential settlement as control indicator and the change of the foundation deformation modulus to express the changes of bearing stiffness, as well as considering the existence of row piles retaining structure, the distributive regularity of settlement curve is discussed when we use the design method for composite foundation considering of the space-varying rigidity. Research shows that the settlement distribution is obviously affected by row piles retaining structure. Hence based on the control of differential settlement, when we use the design method for foundation considering of the space-varying rigidity, we should consider the effect of row piles retaining structure. Research results possess a certain theoretical guidance on reducing the side-piles that locate the marginal part of raft, reducing differential settlement, and ameliorating hypo-stress of the raft and super structure.

Key words: subgrade and foundation engineering; settlement deformation; row piles retaining structure; numerical simulation; design selection