

文章编号:1671-6833(2008)03-0126-03

复合地基基础空间变刚度调平设计方法的数值模拟

郭院成, 王会杰, 张四化

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 基于地基基础支承刚度与上部荷载分布特征相对应的原则, 考虑地基中的应力场、应变场的分布, 对地基基础的空间变刚度设计方法进行了数值分析. 建立复合地基基础的三维有限元模型, 以地基变形模量的变化来反应地基的支承刚度的空间变化, 讨论地基支承刚度空间变化时, 基础沉降等值线的分布规律, 验证了地基基础空间变刚度对减少基础沉降差, 改善建筑结构的受力模式, 减小筏板内力和厚度、降低上部结构次应力具有显著效应.

关键词: 地基基础; 沉降变形; 变刚度调平设计; 数值模拟; 设计原则

中图分类号: TU 437 **文献标识码:** A

0 引言

目前高层建筑桩基设计多采用“等桩长、等桩径、等桩距”(即等刚度)的设计方法, 实测表明, 基础沉降存在碟形分布特征, 导致基础内力和上部结构次生应力增加, 板厚和配筋增多. 与我国2002年颁布的《建筑地基基础设计规范》的“强调按变形控制设计原则, 满足建筑物使用功能的要求”之间存在差异. 宰金珉^[1](1999年)、刘金砺^[2](2000年)等提出以减少差异沉降和材料消耗为目标, 人为合理地调整地基刚度的变刚度调平设计思想. 笔者以地基基础的沉降变形作为设计控制指标, 将地基基础视为整体, 通过调整地基基础刚度寻求具有最满意技术经济指标的设计方案, 对复合桩基、复合地基基础的优化选型设计具有重要的指导意义.

1 变刚度调平设计概念

上部结构、基础和地基的共同作用分析过程中, 通过调整地基基础刚度的空间分布, 使反力同荷载分布相协调, 沉降变形趋向均匀, 由此使基础所受冲切力、剪力和整体弯矩减至最小. 这就是以减少差异沉降和材料消耗为目标, 人为合理地调整地基刚度的变刚度调平设计思想.

变刚度调平的核心是通过调整地基刚度的空间分布从而优化沉降等值线的分布, 使差异沉降

值及其变化梯度减至最小, 使应力传递路径更简洁、合理, 进而降低基础筏板内力和上部结构次应力, 提高结构的可靠度, 到目前为止, 国内外专家学者在变刚度桩基设计理论方面进行了一系列的工作, 并取得了不少研究成果^[3-7].

地基空间变刚度调平设计准则是通过人为调整地基基础的刚度分布特征, 使地基的支承刚度与上部结构产生的荷载分布特征具有最佳一致性.

2 地基基础变刚度方法的数值分析

基于复合地基筏板基础的三维模型, 笔者采用 ANSYS 有限元计算程序研究分析地基支承刚度空间变化时, 基础沉降等值线的分布规律. 数值模拟分析不考虑复合地基中增强体与土的相互作用, 把地基土中的增强体与土体看作一个复合的整体, 其刚度大小用变形模量来表达.

2.1 计算模型及参数选取

2.1.1 模型基本假定

上部结构-基础-地基共同作用体系非常复杂, 为简化计算, 引入基本假定:

(1) 筏板基础为线弹性体;

(2) 把地基土分为筏板下中心区域的加固土体及筏板边缘的加固土体、周围的上部天然土体、下部原状土体四部分, 并均采用 Drucker-Prager 弹塑性模型;

收稿日期:2008-04-17; 修订日期:2008-07-01

作者简介:郭院成(1965-), 男, 河南辉县人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事地基处理与基坑支护工程方面的研究.

(3)加固区及周围土体、筏板与下部土体变形过程中,不产生相对滑动或脱离;

(4)不考虑上部结构的刚度,假定基础顶面的荷载为均匀分布荷载.

2.1.2 计算模型的建立

筏板、筏板中心区域加固区土体、筏板边缘加固区土体、周围上部天然土体及下部的原状土分别形成单元.筏板面积为 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$,筏板下地基分两部分加固,中心加固区体积取为 $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times 20\text{ m}$,上部原状土的底面与加固区土体的底面在同一水平面上.其平面布置如图1所示.

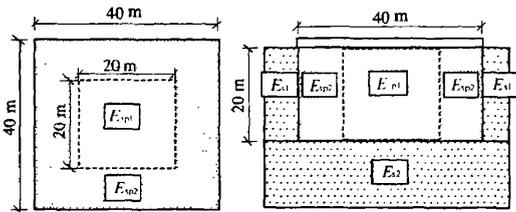


图1 加固地基的刚度分布图

Fig.1 The stiffness distribution of reinforced foundation

计算区域的确定原则是模型的计算应力和位移场分布随边界的外扩已无明显变化.计算模型的影响宽度取 $3B$ (B 为筏板宽度).加固区下部土体影响深度取 $3H$ (H 为加固区土体的深度).上部结构传至基础顶面荷载假定为均布荷载,量值取为 250 kPa .

ANSYS 建立计算模型图及网格划分如图2所示.

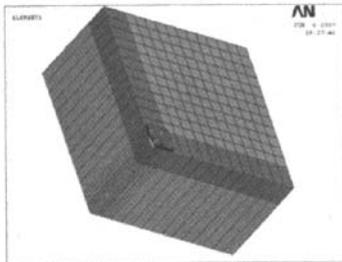


图2 地基基础计算模型网格划分图

Fig.2 The diagrammatic sketch of mesh division

2.2 数值模拟结果

筏板、地基土单元模型选用 ANSYS 程序提供的 SOLID45 - 三维结构实体单元.考虑单元体具有塑性、蠕变、膨胀、应力强化、大变形和大应变的特性.根据地基刚度的变化情况,模拟计算结果沿对称轴截面的沉降分布曲线如图3 ~ 图5所示.图中: A_{sp1} 为中心区域加固区面积; A 为筏板面积.

表1 模拟计算的材料参数

Tab.1 The material parameters of simulation

区域	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	25 500	0.25	2 600				
中心区域加固区土体		0.3	2 200	40	30	30	20
筏板边缘加固区土体		0.3	2 200	40	30	30	20
周围上部天然土体	10	0.35	2 000	18	20	20	20
下部的原状土	40	0.28	2 200	40	35	35	60

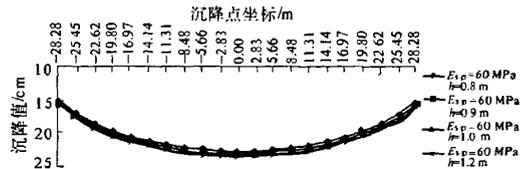


图3 等刚度情况下筏板厚度改变时的沉降曲线图
Fig.3 The Settlement curve under equality stiffness and a change of raft thickness circumstances

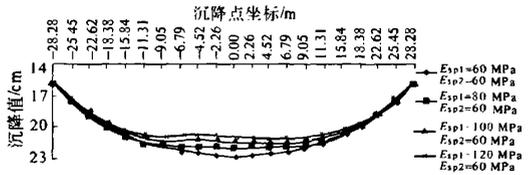


图4 $A_{sp1}/A = 16\%$ 时 E_{sp1} 不变 E_{sp1} 逐渐增大沉降曲线对比
Fig.4 The Settlement curve when $A_{sp1}/A = 16\%$ E_{sp1} unchanged and E_{sp1} gradually increasing

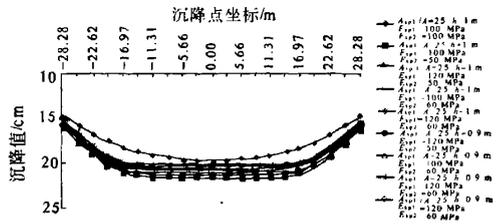


图5 差异沉降值相近的变刚度组合对比
Fig.5 The comparison of different kinds of varying stiffness combination when the differential settlement is similar

2.3 数值模拟结果分析

从以上计算结果,可以得出以下结论:

- (1)据图3可见,等刚度情况下增加筏板厚度对减少差异沉降值作用不是很明显,1.2 m比0.8 m的差异沉降值只减少8%左右.而且由于筏板自重的增加使得最大沉降值也有所增加.采用增加筏板厚度来减少差异沉降不是经济有效的办法;
- (2)由图4可见,采用“内强外弱”的地基空

间变刚度方法可以有效减小差异沉降,且 A_{sp1}/A 的值越大减小差异沉降作用越明显. $A_{sp1}/A = 25\%$ 时,最大沉降值可以减少 $10\% \sim 13\%$, 差异沉降值可以减少 $30\% \sim 40\%$;

(3)从筏板下的沉降等值线的分布特征符合中间沉降大、边缘沉降小的变形规律,总体规律符合实际工程检测结果.采用地基空间变刚度时,沉降沉降最大值也会发生在筏板下刚度值发生变化的范围附近,且从沉降曲线的分布可以看出,在地基刚度变化的交接处沉降值有突变,基础沉降最小值发生滞筏板角点.

3 结束语

地基基础空间变刚度的数值模拟分析研究表明:当筏板边缘加固区土体模量不变,中心区域加固区土体模量增大时,最大沉降值减小,差异沉降值也减小.加大筏板下中心区域支承刚度可以有效的减少基础筏板的差异沉降;本文数值分析计算中没有考虑上部结构刚度的影响,以地基模量的变化来反应支承地基的变刚度.实际工程中上部结构的荷载分布也很复杂,可以根据结构布局、荷载及地层条件,把加固区范围、筏板厚度及变刚

度值进行合理的组合,实现地基基础的优化选型.

参考文献:

- [1] 宰金珉.地基刚度的人为调整及其工程应用[C]//中国土木工程学会第八届土力学及岩土工程学术会议论文集.北京:万国学术出版社,1999:2306 - 2311.
- [2] 刘金砺,迟铃泉.桩土变形计算模型和变刚度调平设计[J].岩土工程学报,2000,22(2):151 - 157.
- [3] PADFIELD C J, SHARROCK M J. Settlement of structure' on clay soil[C]. Construction Industry Research and Information Association,1983.
- [4] FLEMING W G T, WELTMAN A J, RANDOLPH M F, et al. Piling Engineering[M]. Balkema, Rotterdam, New York; Wiley,1992.
- [5] 宰金珉,王旭东,凌 华,等.基于差异沉降控制的桩基非线性优化设计[C]//中国土木工程学会.第九届土力学及岩土工程学术会议论文集.北京:清华大学出版社,2003:1788 - 1793.
- [6] 陈 俊,邹银生,赵海平.桩筏基础“内强外弱”布桩方式探讨[J].基建优化,2005,26(3):78 - 79.
- [7] 刘金砺.高层建筑地基基础概念设计的思考[J].土木工程学报,2006,39(6):100 - 105.

Numerical Simulation of Balance Design Method for the Space - Variable Rigidity of Composite Foundation

GUO Yuan - cheng, WANG Hui - jie, ZHANG Si - hua

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

Abstract: Based on the principle of foundation bearing stiffness corresponding to upper load and the distribution of the stress and strain field, the design method for foundation considering of the space - varying rigidity is numerically simulated. By using the changes of bearing stiffness instead of the change of the foundation deformation modulus, a simple 3 - D FEM model of the composite foundation is established. The regularity of settlement curve has been studied. With the design method for foundation considering of the space - varying rigidity, the differential settlement of foundation can be effectively decreased, the system behavior under the load can be improved, and the thickness and stress of the raft, hypo - stress of the superstructure can be effectively decreased.

Key words: subgrade and foundation engineering; settlement deformation; variable rigidity design for balance settlement; numerical simulation; design principle