Finite element simulation of building deviation rectification through excavation

Yin Heping, Li Chunlin, Xie Zhongyou
Department of Civil Engineering
Tongling University
Tongling, China
yinhp@tlu.edu.cn

Abstract—Deviation rectification of buildings is an arduous task due to its technical difficulty and high risk. In this paper, firstly based on a full investigation of inclined buildings in one residential district, the causes leading to uneven settlement of buildings are stated, and then the process of building deviation rectification through excavation is briefly described. Subsequently, simulation of rectification using finite element software ABAQUS is presented in details. Finally, the numerical simulations considering the effect of the construction order and the amount of drawing soil are carried out by ABAQUS and some helpful advice is presented to the designers and constructors.

Keywords-rectification; excavation; finite element; simulation

I. 引言

建筑物纠偏是技术难度高、风险大的非常规工作,当前 纠偏还没有形成独立的理论体系^[1],在设计和施工中由于 对纠偏机理等问题分析不够、措施不当,造成纠偏不成功 或在纠偏中产生新的事故时有发生^[2]。有限元分析是我们 事前预测可能发生事件的重要途径,也是事后总结研究的 较好方法^[3]。本文拟对某小区建筑物的纠偏加固方法和过 程利用限元进行深入的分析,对堆载掏土纠偏过程进行模 拟,希望能为类似工程的设计施工和相关研究提供参考。

II. 工程实例

A. 设计与施工概况

某小区位于长江南岸,小区住宅楼共 108 幢。现取其中第 29 幢情况介绍如下 : 设计房屋二层半,尺寸 16.0m× 11.6m,南侧二头雨棚一层(无砖墙),尺寸 3.6m×3.4m,底圈梁 300mm×240mm,设计配筋 4 Φ 12,顶层现浇砼,条形基础,宽度 0.8m,雨棚基础柱基,宽度 1.6 m,南部客厅、卧室地坪为架空预制板,架空高度 1.0m,北部厨卫地坪做在回填土上,基础平面及荷载见图 1。

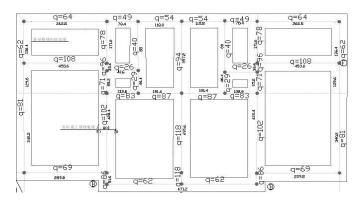


图 1 基础平面及上部荷载简化分布示意图 (线荷载单位: KN/m)
Fig. 1 Plan view of foundation and schematic diagram of
simplified loads of upper structures (KN/m)

B. 房屋损坏情况

该小区建成后,房屋出现了不均匀沉降,均不同程度地向北倾,本案的倾斜率11‰,据入户访问和现场调查观测,地圈梁、承重墙、条形基础未发现明显的位移、扭曲,仅雨棚及其与主体连接部、部分承重墙出现<5mm 裂缝。

C. 工程地质条件及土层主要物理力学性质 各土层主要物理力学性质指标见表 1。

D. 建筑物不均匀沉降的成因初步分析

该建筑物倾斜原因经现场勘查,初步分析主要有如下几个方面原因:

- (1)基础持力层为粉质粘土,厚度仅 0.8m-1.5m,承载力特征值 110Kpa,承载力相对不足。
- (2)房屋的平面布置荷载不均匀,重心与形心不一,重心偏向北面约 0.24m,而基础宽度又一致,雨棚基础偏大,使得南面沉降极小,房屋向北部倾斜。
- (3)位于南面的雨棚、客厅、主卧室采用架空预制板,而位于北面的厨房、卫生间采用回填土,高差约 1m,进一步加大了北面的荷载。

表 1 土层主要物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical properties of	ıl ar	and mechanical	properties	of	soil	lavers
---	-------	----------------	------------	----	------	--------

土层名称及		含水量子	可附比	天然重度	液限	绽 丛	液性指	压缩系数	压缩	固结快剪		
工层石桥及 编号	厚度 m	id 小里 w%	11.欧比 e	人然里及 KN/cm³	W1%	数 Ip	数 I1	巫细禾奴 avMpa−1	模量 EsMpa	С (Кра)	ф (°)	f_{ak}
①粉质粘土	0.8-1.5	32. 4	0. 93	18.6	41.5	17. 6	0. 60	03	4. 6	9. 6	24. 5	110
②粉质粘土	0.8-1.5	33.0	1. 07	17. 3	45. 9	22. 7	0. 98	0. 4	3. 3	7. 0	11	80
③淤泥质粉 质粘土	3	43. 7	1. 23	17. 6	40. 4	14. 2	1. 32	0.8	3. 2	9. 0	24. 3	70
④粉砂	5	38. 3	1. 08	18.0	35. 9	10	1. 32	0. 56	4. 9	7. 7	26. 2	130
⑤淤泥质粉 质粘土	11	44. 7	1. 27	17. 4	41. 3	15. 0	1. 28	0.8	3. 0	10. 1	23. 4	70

E. 纠偏设计及施工

纠偏采用基础内深层土体螺旋钻孔掏土法,南侧沿基础外边缘进行堆载。基础内深层掏土在沉降小的南侧布置斜孔,用螺旋钻从孔底③层深层取土,钻孔距基础 1.2m,孔径 130mm,孔距 1.1m,倾角 75°,倾向北,孔深 6.0m,掏土深度 3.5~6.0m,总掏土量与沉降差成正比,每次掏土量不大于 0.03m³,在接近纠倾目标时利用纠倾滞后效应进行微调,达到纠倾目标后用中细炒均填锅上,在工程施工时进行注浆加固。纠偏增土见图2。

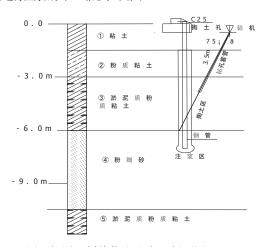


图 2 加固、纠偏掏土孔布置剖面图
Fig. 2 Section plane of excavation bore of reinforcement and rectification

F. 纠偏加固效果

该小区经六个月的施工,所有房屋都得到纠偏和加固,指标达到了设计要求,经一年的观测,房屋的倾斜和沉降全都在规定的指标范围内,第 29 栋的倾斜率由 11‰纠正为 5‰,沉降基本稳定。

III. 掏土纠偏过程有限元分析

利用有限元软件 ABAQUS,选倾斜度为 11%住宅 楼为有限元模拟对象,总掏土量 7.473m³,单孔掏土量 0.83m³,有限元模拟掏土方案与施工设计方案相同,不考虑注浆和钢管桩加固。

A. 各部分几何体

因模型具有对称性,模型取一半同时施加对称边界。另外三个立面施加位移边界,U3 自由,其它位移均固定。模型主要由地基、条形基础、堆载面三部分组成。其中条形基础和地基创建为三维变形体,条形基础平面图如图 1 所示。地基在坐标 1,2,3 方向的尺寸分别为 10m,13.6m,20m,掏土孔共 4.5 个,深度 4.5m-6m,孔距 2.2m,参看图 3。堆载面设为壳解析刚体,置于较高的南侧地基,宽1m,长 8.4m,与条形基础边缘平齐。对地基施加1000kg/m²的面压力,U3 自由,其它位移均固定。





(a) 模型部件组合 (b) 掏土孔位置 图 3 掏土纠偏有限元分析模型

- (a) Assembly of model components
- (b) Positions of excavation holes

Fig. 3 Finite element model of rectification

B. 基本材料力学性能与参数

该建筑采用条形基础,为 C20 混凝土,采用线 弹性材料模型,密度为 2500kg/m³,弹性模量为 25.5Gpa,地基土层采用弹塑性模型[4]。

C. 分析步设置

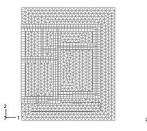
分析步共分为 7 步,第 1 步为地基初应力平衡步,第 2~6 步为掏土步,通过掏土解除一定地基应力。依次掏去靠近对称面的半圆柱孔和逐步远离对称面的 4 个孔。对于掏土过程,ABAQUS 采用的是移除单元,使单元失效的方法。第 7 步为堆载加压步,通过南侧堆载加压,使南侧地基进一步沉降。

D. 上部荷载简化

在条形基础中线上固结抗弯刚度极小的"软梁",上部荷载简化为线荷载施加于"软梁"上,对条形基础和地基土层施加重力荷载。

E. 网格划分

条形基础设为三维 8 节点实体单元,地基为三维 4 节点实体单元。网格均以单元尺寸控制。条形基础单元尺寸设为 0.3m,共 910 单元。地基单元尺寸设在 0.3m 至 0.75m 之间,掏土孔单元尺寸设为 0.2m,整个地基单元总数共约 10 万。堆载刚性面为解析刚体,不需划分网格。有限元模型网格划分如图 4 所示。



(a) 平面图

(b) 侧面图

图 4 掏土纠偏有限元模型网格划分

(a) Plan view

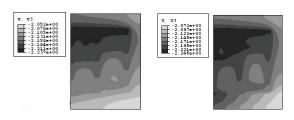
(b) Side view

Fig. 4 Meshing of finite element model of rectification

F. 计算结果及分析

(1) 地基沉降量分布

由于上部荷载偏心和土层分布不均的原因, 地基顶面沉降量各处分布不一样,如图 5 所示。 纠偏前地基北侧沉降量比南侧大,基础向北侧倾 斜。纠偏后,南侧沉降量增大,基础倾斜度减小。



(a) 纠偏前

(b) 纠偏后

图 5 地基顶面竖向位移分布图(上北下南)

(a) Before rectification (b) After rectification Fig. 5 Vertical displacement distribution at top surface of foundation

图 6 给出了地基侧面竖向位移分布图,可以看出,浅层地基沉降量很大。随着地基加深,上部荷载局部影响逐渐减小。在纠偏过程中,因堆载加压,整个地基竖向位移均有所增大。

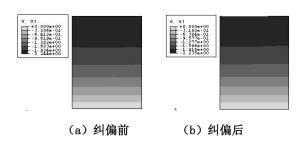


图 6 地基侧面竖向位移分布图 (左北右南)

- (a) Before rectification (b) After rectification Fig. 6 Vertical displacement distribution at the side of foundation
 - (2) 基础沉降量和建筑物倾斜度

图 7 给出了掏土前后基础南北侧沉降差。

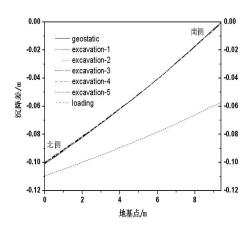


图 7 掏土纠偏前后基础沉降差比较

Fig. 7 Difference of foundation settlement of excavation adopting constructing method

在地基初应力平衡分析步里,南北侧沉降差-0.101m,经过5步掏土,基础南北两侧沉降量分别为0.00m、+0.01m,基础南侧基本不动,北侧有

上升趋势。堆载加压过程中,基础南北两侧沉降量分别为-0.057m、-0.008m,南北两侧沉降差为-0.049m。最终,基础倾斜度降低为 5.5‰,这与实测吻合,同时我们也可发现,堆载产生的纠偏效果优于掏土,但堆载同时加大了两侧的沉降。

IV. 掏土纠偏方案比较有限元仿真

A. 施工次序变化的有限元仿真模拟

设计了两种不同的纠偏方案作为比较,结果 绘于图 8。方案一是把掏土步由 5 步改为 1 步,掏 土孔一次掏除,然后堆载加压。方案二是不掏土直 接进行堆载加压。结果表明,方案一的 1 步掏土与 施工方案的 5 步掏土,计算结果相差很小。方案二 直接堆载加压法的计算结果也与施工方案相差不 大,只是基础北侧沉降量稍大。究其原因,主要是 由于该建筑为二层半住宅楼,总荷载比较小,地基 内附加应力较小,掏土过程对地基内附加应力调整 影响较小。相对而言掏土位置偏深,掏土对地基上 部影响偏小。

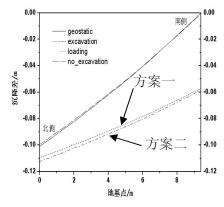


图 8 不同掏土纠偏方案时的基础沉降差

Fig. 8 Difference settlement of foundation adopting different methods of rectification through excavation

B. 掏土量变化的有限元仿真模拟

为了进一步研究掏土对纠偏过程的影响,对掏土量加大两倍时的工况进行了仿真。图 9 给出了掏土量加大两倍时的基础沉降情况。可以看出,随着掏土量的增大,基础南侧沉降量加大,而北侧逐渐抬升,基础围绕中间一点(距北侧边界约 2 米处)作近似刚性转动,这也说明加大掏土量能提高纠偏效果,同时要处理好南侧沉降可能带来的危害。

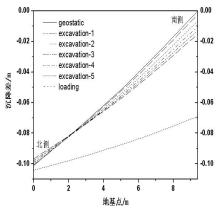


图 9 掏土量增加两倍时的基础沉降差

Fig. 9 Difference of foundation settlement as excavation amount was increased two times

V. 结论

对于建筑物纠偏过程,由于涉及的参数较多, 上部荷载及地基土层性质复杂多样,运用理论方法 进行计算有一定的难度,按经验设计施工又有很大 的盲目性,因此建立合理的有限元模型对于指导工 程实践具有重要的现实意义。

本文采用有限元软件 ABAQUS, 对某小区典型住宅楼进行了模拟分析。在地基初应力平衡步里得到纠偏前的倾斜度为 10.7%, 实测值约为 11%, 吻合较好。随后,按照施工设计方案模拟掏土纠偏过程,得到的结果与实际相符,同时,还模拟了不同施工次序和不同掏土量时的沉降情况,根据有限元计算结果和分析,提出了纠偏方案的修正思路。

References

- [1] LIU Zu de. Fifteen Year Experience in buildings (structures) rectification and inclination prevention [J]. Soil Eng. And Foundation, 2006, 20(6): 84-86. (In Chinese)
- [2]ZHANG Li, YANG Hua, YU Xingfu. Investigation and remedy on a buoyed underground-garage of raft foundation basement [J]. GEOLOGY AND PROSPECTING, 2008, 44 (4):93-94(In Chinese)
- [3]Chen Feng, Liu Zude. Study of the method of subgrade-stress relieving method based on F.E.M. in building rectification[J]. Soil Eng. And Foundation, 2000, 10(3): 4-7(In Chinese)
- [4]SUN Chaoqun , ZHOU Ke. A constitutive model of Shanghai soft clay based on SMP criterion[J]. Hydrogeology and Engineering Geology. 2009, 36(2):81-83(In Chinese)