

堆煤与地基相互作用的有限元分析讨论

章亚申^{1,2},张坤勇^{1,2}

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏 南京 210098;

2. 河海大学 岩土工程科学研究所,江苏 南京 210098)

摘要:针对某堆煤球形仓项目的桩基基础设计分析,利用 PLAXIS 有限元分析软件,分别采用施加分布荷载和实体作用作为堆煤荷载的施加形式,同时参考分层总和法计算结果,对比讨论不同方法得到的沉降、桩身内力及变形等结果,发现不考虑堆煤与地基的相互作用会大大高估地基的沉降变形值,造成设计过于保守,同时对于桩基础的受荷分布也会产生改变,若桩基承载力不足,会对桩基加固位置产生错误的判断。

关键词:堆煤加载;有限元分析;相互作用;PLAXIS

中图分类号:TU470

文献标识码:A

Discussion of finite element analysis of coal – foundation interaction

ZHANG Ya – shen^{1,2}, ZHANG kun – yong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China; 2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: Combining with some coal bunker project, two kinds of modeling methods are used through the software PLAXIS. The loading effect of coal is simplified as distributed load on the foundation in the former model while interaction of coal and foundation is emphasized in the latter one. Considering the result of splitting summation method, we can tell the difference of the two modeling methods in terms of ground settlement and structural response of pile foundation. It is found out that the settlement of foundation can be overestimated without consideration of coal – foundation interaction which is thought to be conservative in design. Moreover, as to the former model, the distribution of load transferred from coal also differs a lot from the one taking account of coal – foundation interaction, thus may causing misjudgment if pile capacity is not satisfied.

Key words: coal loading; finite element analysis; interaction; PLAXIS

土与结构的相互作用问题是地基基础学科中的经典问题^[1-2],以有限元为主的数值方法在处理复杂模型和边界问题时显得更具优势,因此常常运用于基坑开挖、桩基础分析等典型土与结构相互作用的实际工程分析中,然而在这类问题分析中,如何将外部荷载很好地考虑到模型中,这对结果会产生很大的影响^[3-7]。现实中,许多有限元分析为了便于建模和计算,常常将实体作用简化成荷载形式施加于待分析物体,这样就忽略了荷载与结构的相互作用,而堆煤仓对于地基结构的作用无疑也属于这一范畴^[8-10]。本文的目的是

借助某堆煤仓的实际案例,分别采用传统的荷载 – 结构模型以及堆煤 – 结构相互作用模型来进行有限元分析计算,来发现两者结果之间的差别,并给出堆煤仓地基基础设计有限元分析甚至其他类似有限元分析过程中的建议。

1 工程概况

1.1 项目概况

某堆煤球形仓,初步设计为6座直径120 m 储煤中转库,现在分步进行实施,初期建造2座直

表1 球形仓地基土物理力学参数表
Tab. 1 Parameter values of layers of soil

编号	土层	土层厚度 /m	层底标高 /m	压缩模量 /MPa	泊松比	天然重度 /kN·m ⁻³	C /kPa	φ /°
1	淤泥质粉质粘土	5.9	-1.38	4.38	0.3	17.7	11	16
2	①粉土	11.8	-13.18	16.23	0.25	19.7	18	28
3	②粘土	3.2	-16.38	4.13	0.3	17.3	11	15
4	③ ₁ 粘土	2.7	-19.08	12.05	0.3	18.9	22.2	18
5	③ ₂ 粉土	5.0	-24.0	20.62	0.25	19.8	14.6	28
6	③ ₃ 粉细砂	10	-34.1	30	0.3	20.0	20	30
7	③ ₄ 粉土	5.6	-39.7	24	0.25	19.5	10.2	26
8	④ ₁ 粉质粘土	4.7	-45.4	10.3	0.25	18.7	16	20
9	⑤粉细砂	24.6	-70	30	0.3	20.0	20	30

径 120 m 储煤库。该球形仓的建筑高度约 68 m, 球面半径约 69 m, 高度约 48 m。球面外壳表面积 19 200 m², 水平投影面积 11 880 m², 穹顶底部半径约 63 m。本工程球形仓采用分段式钢筋混凝土环形档料墙结构, 屋盖采用双层钢网壳结构。该球形仓的环形档料墙基础采用 PHC 预应力管桩方案, 库芯区采用 PCC 现浇混凝土大直径管桩复合地基方案, 但最终由于施工困难, 仍采用 PHC 预应力管桩作为桩基础加固, 中心堆取料机设备基础采用后注浆灌注桩方案。

1.2 工程地质条件

该场地位于盐田和海产养殖池, 人类生产和工程活动使得勘察区表层的土质差别较大, 属于不均匀地基。表层粉质粘土、粘土和淤泥质粉质粘土多呈软塑—可塑状, 表层粉土为稍密状, 土质较差, 压缩性高, 承载力低, 未经处理不宜直接作为基础持力层。①粉土呈中密—密实状, 土质相对较好, 该层土可作为一般浅基础持力层, 由于粉土有扰动后易液化现象, 因此对其利用时, 施工过程中应避免过大的扰动。①粉土下部的②粘土为高压缩性土层, 地基承载力较小, 在进行基础设计时, 应进行软弱下卧层验算。地基土物理力学参数可见表 1。

2 有限元模型建立

本案例的有限元建模分析采用 Plaxis2D 软件进行, 其程序中板单元可以用来模拟地层中细长的、且具有相当抗弯刚度和轴向刚度的结构对象, 如挡土墙、隧道衬砌、桩基础等^[11]。板的材料性质主要由两个参数决定, 即抗弯刚度 EI 和轴向刚度 EA , 板的等效厚度可由公式(1)确定。

$$d_{ep} = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}} \quad (1)$$

Plaxis 中还设置了用于模拟土与结构相互作用的界面单元, 众所周知, 桩基础打入地层后会使得桩周围的土层松动、强度降低, 因此, 在 Plaxis 中可以设置桩周土体强度的折减系数 R_{inter} 来模拟松动区域的土层的强度降低, 是一种有效的模拟方法。

2.1 计算区域及边界条件

鉴于整体堆煤仓模型关于中心取料机中心对称, 因此模型选择为轴对称模型, 如图 1。

对于模型的边界条件, 如选取不当, 可能会对计算结果产生重要的影响。进行有限元分析时, 主要需要考虑的是地基的边界范围和约束条件的确定。一般来说, 地基边界采用截断边界不会引起太大的误差, 截断边界应远离受力区域^[12], 因此, 本模型在水平范围内, 截断边界距离桩基础仍留有 2~3 倍基础宽度, 深度方向考虑建模至变形微小的土层, 因此最终确定的模型土层范围选取为 180 m × 70 m。

对于截断边界的描述为: 模型两侧边界的水平向位移被限制, 而模型底部的水平及竖直两个方向的位移都被限制。

2.2 土层参数

土体模型选择莫尔—库仑模型, 根据地质勘察报告显示的土层信息, 将土层划分为 9 层, 具体计算参数见表 1。

2.3 模型附加材料

(1) 桩基础: 根据设计方案, 桩基础采用 PHC 预应力管桩, 采用板单元模拟, 等效厚度 0.6 m, 桩

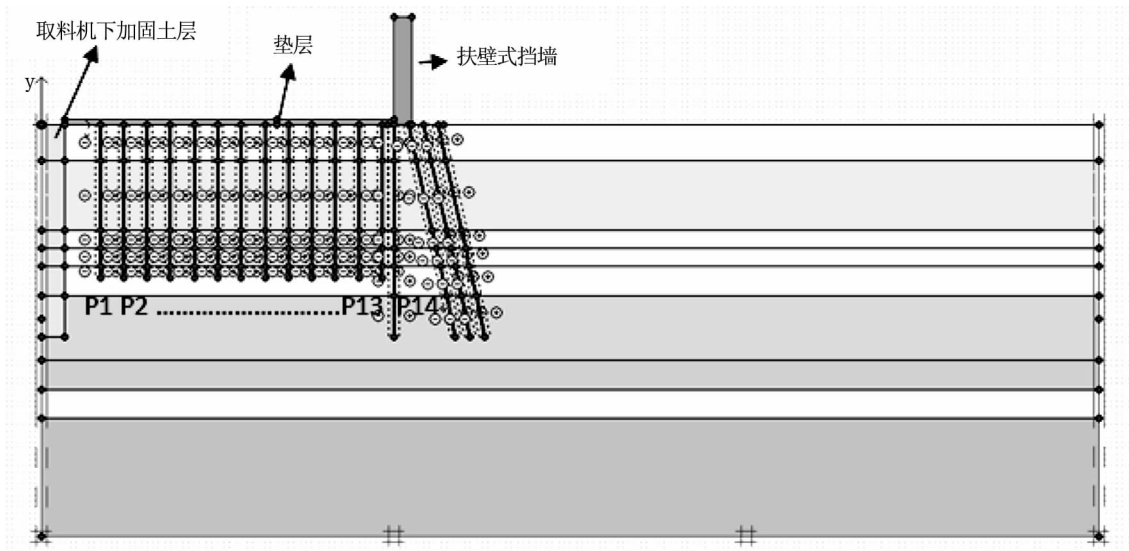


图1 堆煤仓桩基础计算模型示意图
 Fig.1 Model of pile foundation for calculation

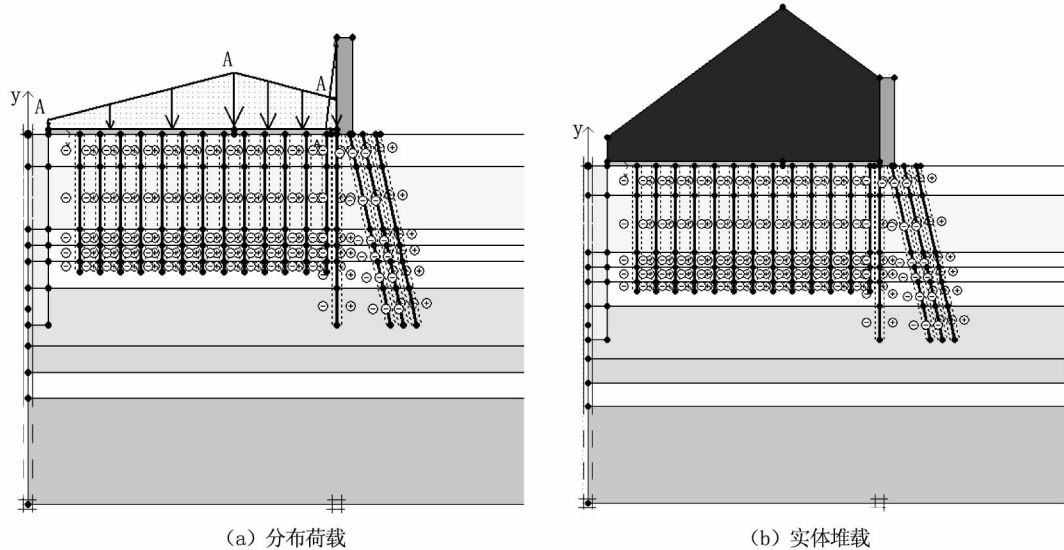


图2 荷载模型示意图
 Fig.2 Sketch of two models

土之间的相互作用采用界面单元模拟,界面强度折减系数根据桩体和土体材料性质可选为0.7。

(2)垫层:由于在堆煤过程中需要考虑避免荷载的受力集中而铺设垫层,因此在建模时桩基础区域范围内的地表处设置厚度为1 m的垫层材料,用于分散上部堆煤荷载传下来的压力。

(3)扶壁式挡墙:考虑到扶壁式挡墙是重力式结构而非以弯曲受力为主的板式结构,故采用一个大刚度实体块来模拟。

(4)取料机下的加固土层:由于并不是关注重点,中心取料机下部的灌注桩在建模时并没有设置,而是通过提升该块区域的土体模量来模拟材料力学性质的加强。

2.4 分布荷载与实体堆载模型

针对堆煤荷载的模拟,分布荷载分别施加于垫层以及扶壁式挡墙之上,设置实体堆煤区域形成与地基基础的相互作用。荷载-结构模型见图2。

2.5 分析步骤

(1)地应力平衡:在有限元分析中,由于土体受自重荷载会产生变形,加上桩基础和挡土墙施工,又会产生新的变形,在进行本文问题的研究中,可以将以上因素产生的变形予以忽略,只关心堆煤荷载作用在地基结构之后的变形和受力情况。

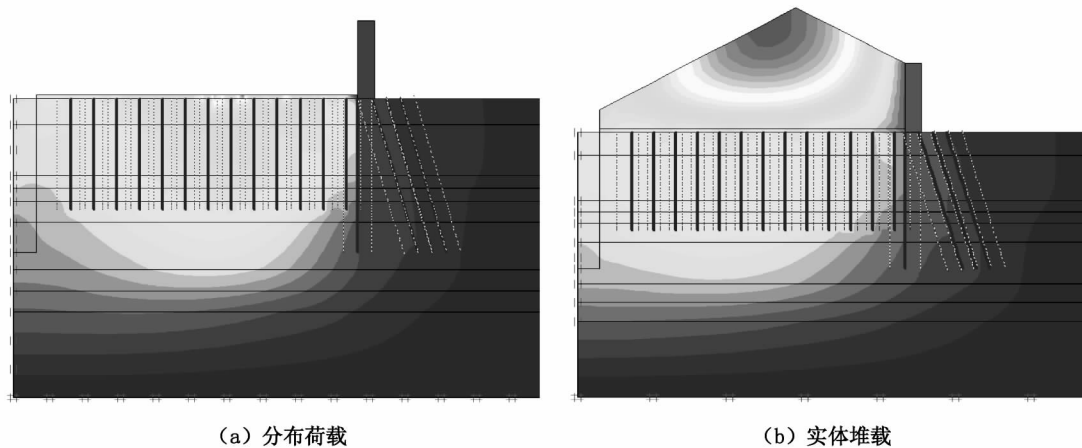


图3 地基沉降计算结果图

Fig.3 Result of soil settlement

表2 两种模型最大桩身内力统计表

Tab.2 Internal force of pile in two kinds of modeling

	最大轴力/kN(位置)	最大剪力/kN(位置)	最大弯矩/kN·m(位置)
分布荷载	1 910(P8)	179(P8)	124(P10)
实体堆载	1 940(P4)	2 292	1 362

(2)堆煤荷载的施加:分别采用分布荷载施加以及堆煤实体作用两种施加荷载的方式,以探索两种不同加荷模式对计算结果带来的影响。

3 结果分析与讨论

3.1 地基沉降

如图3的地基沉降计算云图所示,分布荷载模型在靠近地表和桩间土体沉降量明显大于实体堆载模型。前者的地表沉降为34.4 cm,后者为19.1 cm,而根据传统的分层总和法计算得到的地基土沉降值为29.2 cm,更接近分布荷载模型的结果,而这也正说明将实体重力荷载作用简化成作用于受力表面的上部自重分布荷载往往会高估地基的沉降变形,这是因为分层总和法的计算荷载也是通过简化成分布荷载完成的。

二维分布荷载的有限元模型在计算地基沉降时相较于一维的分层总和法考虑了土体侧向的压力,而不是如一维条件下的完全侧向约束,因此结果会比分层总和法的计算结果偏大,然而在考虑实体作用的有限元分析后,实际的沉降值更小,所以采用分布荷载去模拟竖向堆载的实例仍趋于保守,对于以土体沉降为控制标准的设计会造成不小的浪费。

3.2 桩身内力与变形

将本模型的14根竖桩按图2所示从左至右

依次排列命名,根据有限元的计算结果,两种计算模型存在以下的差别:

(1)最大桩身变形:由于该案例主要为竖向受荷,对桩的水平作用不明显,而计算结果也显示各根桩的水平位移相对于竖向位移可忽略不计,因此仅比较两种模型竖向位移的差别。根据计算结果显示,分布荷载模型中桩身变形最大位置出现在P8号桩,为21.8 cm,而实体堆载模型出现在P5号桩,为17.7 cm,由此可见,简化分布荷载不仅会使得变形量增大,还会使桩基础最大受力点向集度最大点偏移,而实际情况下,上部堆煤体会朝着最高点往下滑动变形,由此使得地层最大受荷点偏离预想简化荷载最大集度处,从而使得分布荷载模型的计算结果与实际产生一定的偏差。

(2)最大桩身内力:最大桩身内力统计情况如表2所示,从内力值来看两种模型的结果相差不大,主要的区别在于最大受荷点的位置,分布荷载模型最大受荷点在分布荷载集度最大值附近,即P8至P10号桩之间,而实体堆载模型中最大受荷点的位置处于P2至P4号桩之间,这和上述最大桩身变形的规律是相符的。

4 结论

1)上部堆煤体简化成分布荷载的有限元分析结果显示土体变形明显大于考虑堆煤与地基相互作用的模型,会使得以地基变形为控制量的地基基础设计过于保守。

2) 堆载的简化同时也会造成桩基最大内力位置的偏移,如果桩基承载力不满足需要进行加固,会对加固位置的判断造成错误。

3) 如果在有限元分析中由于建模的复杂不得不简化荷载,需要动态地考虑上覆堆煤体或是其他需要简化成荷载的实体的变形趋势,准确地预估荷载作用面上的荷载压力值,否则结果的可参考性将大大降低。

参考文献:

- [1] HETENYI M. Beams on elastic foundation[M]. Ann Arbor University of Michigan Press, 1946.
- [2] VORSTER T E B, KLAR A, et al. Estimating the effects of tunneling on existing pipelines[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2005, 131(11): 1399 - 1410.
- [3] 武亚军. 基坑工程中土与支护结构相互作用及边坡稳定性的数值分析[D]. 大连:大连理工大学, 2003.
- [4] 许锡昌. 土压力问题与基坑变形分析[D]. 武汉:中国科学院研究生院, 2004.
- [5] 韩伟平. 涵洞土压力有限元施工分层填筑模拟与试验研究[D]. 太原:太原理工大学, 2007.
- [6] 邢肖鹏. 挡土墙土压力有限元模拟分析[J]. 山西水利科技, 2002(4): 1 - 3.
- [7] 朱合华. 地下建筑结构[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [8] 翟建强, 薛飞, 葛忻声. 圆形煤场结构和地基共同作用设计方法简介[J]. 武汉大学学报:工学版, 2012(Z1): 247 - 250.
- [9] 李桂庆, 弓建新, 陈明祥. 发电厂圆形封闭煤场基础设计的有限元分析[J]. 内蒙古电力技术, 2015(2): 88 - 91.
- [10] 汪碧飞, 陈明祥, 汤正俊, 等. 大型整体式贮煤筒仓基础有限元分析[J]. 岩土力学, 2010(6): 1983 - 1988.
- [11] 北京金土木软件技术有限公司. PLAXIS 岩土工程软件使用指南[M]. 北京:人民交通出版社, 2010.
- [12] 卢廷浩. 岩土数值分析[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- (特约编辑 李 军)
-
- (上接第5页)
- 特性分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(4): 1216 - 1222.
- [10] 张磊. 拓宽路基变形数值分析[D]. 上海:上海交通大学, 2009.
- [11] 吴拓, 李国维, 石磊. 佛开高速公路拓宽工程带帽CFG桩软基加固数值分析[J]. 公路, 2012(2): 63 - 67.
- [12] 晏莉, 阳军生, 高燕希, 等. 土工合成材料处治老路路基拓宽的数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(8): 1670 - 1675.
- [13] 李利飞, 谢方媛, 许道军, 等. 动荷载作用下路基沉降规律试验研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2012(2): 7 - 10.
- [14] 章定文, 刘松玉. 深层搅拌桩隔离墙应用于软基高速公路扩建工程的数值分析[J]. 公路交通科技, 2005, 22(11): 10 - 13.
- [15] 杨涛, 李磊, 石磊. 高速公路扩建工程软基隔离墙加固机理的数值分析[J]. 公路交通科技, 2011, 28(8): 51 - 56.
- [16] 章定文, 刘松玉. 软土地基高速公路扩建中新老路堤相互作用数值分析[J]. 中国公路学报, 2006(6): 7 - 12.
- [17] 鄂海清. 搅拌桩和素混凝土桩处理高速公路拓宽工程软基的路堤性状分析[J]. 华东公路, 2011(6): 14 - 18.
- [18] 李建国, 王珣. 路基承载力与路堤稳定性及沉降关系研究[J]. 铁道工程学报, 2014(5): 12 - 15.
- [19] 傅珍, 王选仓, 陈星光, 等. 拓宽道路工后差异沉降控制标准[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2008, 28(5): 10 - 13.
- (特约编辑 李 军)