

某特深圆形基坑的三维数值分析

屈俊童, 周 健

(同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要: 圆形基坑围护结构的工作性状不同于条形基坑, 其围护结构与土体共同作用的空间效应及时变性非常明显. 本文对某特深圆形基坑进行了施工全过程的三维弹塑性分析和模拟, 并详细说明了考虑空间效应及时变性分析的具体实现方法, 结果表明, 对于这类复杂的基坑工程, 进行考虑结构与土体共同作用的施工全过程三维数值分析和模拟是完全有必要的.

关键词: 共同作用; 三维数值分析; 圆形基坑

中图分类号: TU94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)05-0096-04

3 - Dimensional Numerical Analysis in a Very Deep Circle Pit

QU Jun-tong, ZHOU Jian

(Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Working status of the circle pit is different that of, from the rectangle pit, because the time effect and spatial effect of the interaction between the excavation support and the soil are distinct. In order to reveal the time effect and interaction, 3 - dimensional non - linear numerical analysis is carried out in which the excavation is considered. The analysis results show that investigation of the interaction between soil and structure and the simulation of excavation process are necessary in such circle deep pit.

Key words: interaction; 3 - dimensional numerical analysis; deep circle pit

0 引 言

随着人们对地下空间的开发和利用, 基坑工程在工业与民用建筑工程中日趋增多, 而且朝着更大更深的方向发展. 传统常规的基坑设计方法诸如等代梁法、m 法等近似计算方法很难反映出诸多影响因素^[2], 从而导致基坑的工作性状和设计预估时的相比有一定差异. 国内外学者于 20 世纪 70 年代初将有限元法应用于地下结构的开挖分析, 随后, 考虑支护结构和土共同作用的二维有限元分析被广泛采用. 但对一些特大型基坑, 其围护结构的空间效应非常明显, 另外, 对一些平面形状呈圆形或近似圆形的基坑, 可以充分发挥围护结构与土共同作用的拱效应^[3,5]. 对诸如此类工作性状的基坑, 二维有限元分析有很大的局限性, 随着人们对基坑空间效应认识的不断深入, 基坑工程的三维性状日益受到人们的关注. 本文结合某钢铁厂 30 m 超深圆形水处理系统漩流沉淀池基坑来说明实现考虑基坑三维性状及时变性的分析方法, 并将计算结果和实测结果比较, 说明该分析方法的合理性.

1 工程概况和计算模型

1.1 工程概况与特点

某钢铁厂水处理系统漩流沉淀池基坑, 开挖深度 33 m, 平面形状呈圆形, 围护结构采用地下连续墙结合内衬, 不设支撑, 顶部设置一道压顶圈梁. 地下连续墙内径 26.5 m, 墙深 51.3 m, 墙厚 1.0 m, 内衬厚 0.8 m, 采用分层逆筑法施工. 此基坑采用“两合一”墙结构形式, 即地下联系墙作为围护结构以及地下结构的

收稿日期: 2004-04-15.

第一作者简介: 屈俊童(1978.9~), 男, 在读博士研究生. 主要研究方向: 岩土工程.

部分外墙,结构形式较为特殊,基坑开挖深度以及地下连续墙深度均较深.基坑所在场地地质资料复杂,多为软弱土层,地表面 2.5 m 为杂填土,2.5~71.7 m 为粉质粘土、淤泥粘土、砂质粉土等夹层分布,各土体的基本力学参数见表 1.基坑的开挖分 5 步,具体的施工工况见表 2.

由于该基坑开挖较深,平面形状呈圆形,围护结构与土共同作用的拱效应非常明显,施工周期长,约十个月,周边环境较复杂.为确保安全施工,对此基坑采用了信息化施工监测,进行监测的项目有:连续墙内钢筋应力监测,墙后土压力检测,在连续墙内埋设测斜管对墙体的侧向变形监测,墙顶位移监测等,历时 10 个月的施工监测,获得了大量实测数据,可以从很多角度对此基坑结合施工全过程进行数值分析.

1.2 计算模型及方法

计算采用较为成熟的 ANSYS 有限元软件,根据圆形基坑的空间几何尺寸及分析的离散区域,分析的离散区域在宽度方向取 2 倍的基坑内径,深度方向取深度的 1.5 倍,根据基坑计算模型的剖面图及地质剖面图,建立三维分析模型.地下连续墙和内衬采用 SOLID65 单元,考虑到在基坑的工作性状中,连续墙和内衬处于弹性工作状态,所以连续墙和内衬假设为线弹性材料;相反基坑开挖面的附近区域及连续墙背后的土则明显进入塑性工作状态,故土体采用 SOLID185,本构模型选用 Drucker-Prager 理想弹塑性模型.对围护结构与土共同作用主要是通过连续墙与土体的接触部位设接触面单元,连续墙面为目标面,土为接触面.基坑开挖到 -33.0 m 未浇筑底板和 -26.7~-33.0 m 内衬时的 1/4 三维有限元网格模型见图 1.

为了模拟施工开挖的全过程,通过使用 ANSYS 的单元“生死”功能来实现,单元的“生死”选项主要用于在分析模型中模拟加入或删除材料,分析模型中相应的单元就“存在”或“消亡”的情况下“杀死”或重新“激活”选择的单元.所谓的“杀死”单元,就是将该单元的刚度和质量都乘以一个很小的数,使该单元不能发挥作用,而“激活”单元就是让已经被“杀死”的单元恢复原有的刚度和质量^[6].通过“杀死”连续墙内的单元来模拟基坑内土的开挖,然后“激活”部分被杀死的单元来模拟内衬的浇筑.

实现的步骤是:①建立分析区域内场地的土体及连续墙围护结构有限元分析模型,并施加重力荷载;②在连续墙的外表面施加压力,模拟连续墙施工完工后的情况;③按施工工况逐层“杀死”基坑内部土体并“激活”相应的内衬单元,模拟基坑的开挖和内衬的浇筑;④重复步骤③直至开挖至基坑底.分析过程及“杀死”“激活”单元的过程示意图见图 2.

表 1 土的物理力学指标

Tab.1 Physical and mechanical indexes of soil

| 土层编号 | 土层名称 | 深度 /m | 重度 /kN·m ⁻³ | 压缩模量 /Mpa | 泊松比 | C /kPa | φ/(°) |
|------|------|-------|------------------------|-----------|------|--------|-------|
| ①1-1 | 杂填土 | 2.4 | 18 | 3.22 | 0.4 | | |
| ② | 粉质粘土 | 0.8 | 18.4 | 4.8 | 0.33 | 18 | 12 |
| ③1 | 淤粉粘土 | 2.0 | 17.5 | 2.3 | 0.35 | 17 | 11 |
| ③2-1 | 粘质粉土 | 2.0 | 18.5 | 4.3 | 0.33 | 20 | 10 |
| ③2-2 | 砂质粉土 | 1.4 | 18.6 | 5.6 | 0.26 | 22 | 8 |
| ③3 | 淤粉粘土 | 2.3 | 17.6 | 3.1 | 0.33 | 17 | 11 |
| ④ | 淤质粘土 | 9.7 | 17 | 3.1 | 0.3 | 12 | 14 |
| ⑤1 | 粉质粘土 | 0.8 | 18 | 4.2 | 0.33 | 15 | 13 |
| ⑥1 | 粉质粘土 | 6.3 | 18.5 | 4.8 | 0.33 | 15 | 30 |
| ⑦1 | 砂质粉土 | 2.9 | 19 | 5.6 | 0.35 | 22 | 8 |
| ⑧1 | 粉质粘土 | 33 | 18 | 4.3 | 0.33 | 16 | 14 |

表 2 施工工况

Tab.2 working condition of construction

| 工况 | 开挖标高及内衬浇筑 |
|-----|---------------------------|
| 工况一 | -7.7m, 浇顶圈梁及 0~-7.7m 内衬 |
| 工况二 | -14.7m, 浇 -7.7~-14.7m 内衬 |
| 工况三 | -20.7m, 浇 -14.7~-20.7m 内衬 |
| 工况四 | -26.7m, 浇 -20.7~-26.7m 内衬 |
| 工况五 | -33.0m, 浇 -26.7~-33.0m 内衬 |

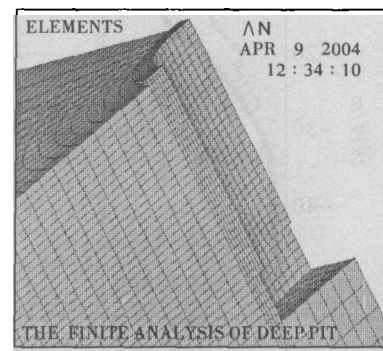


图1 有限元网格划分
Fig.1 Finite element mesh

2 计算结果与实测结果的比较

2.1 围护结构侧向位移

通过逐层“杀死”开挖土体单元,并“激活”内衬单元,实现了对基坑开挖全过程的模拟,围护结构数值计算的结果和实测结果如图3.

从计算得到的侧向位移曲线和实测侧线位移曲线比较,两者侧向位移的曲线形状大致一致,趋势相同,最大位移值的位置点在相同的区域.基坑侧向变形最大发生在开挖至 -33.0m 而未浇筑底板和 -26.7m 至 -33.0m 内衬时.在数值上,计算得到的侧向位移要比实测得到的要大一些,约为实测值的 $1.6\sim 1.9$ 倍左右.

2.2 围护结构后的土压力

为了定量了解围护结构后土压力随基坑开挖的变化,在连续墙后埋设了3个土压力盒,深度分别为 20m 、 26m 、 32m ,图4为计算土压力与实测土压力在深度方向的变化曲线.

从土压力在深度变化的曲线看,土压力随开挖过程变化非常明显,此围护结构形式,采用三角形土压力计算比较合理.从土压力值随开挖深度变化的情况看,土压力随时间变化幅度较小,这一点与条形基坑围护结构有明显的差异,基坑采用圆形的“两合一”的结构形式,围护结构刚度大,变形小,土压力更接近于静止土压力的情况.

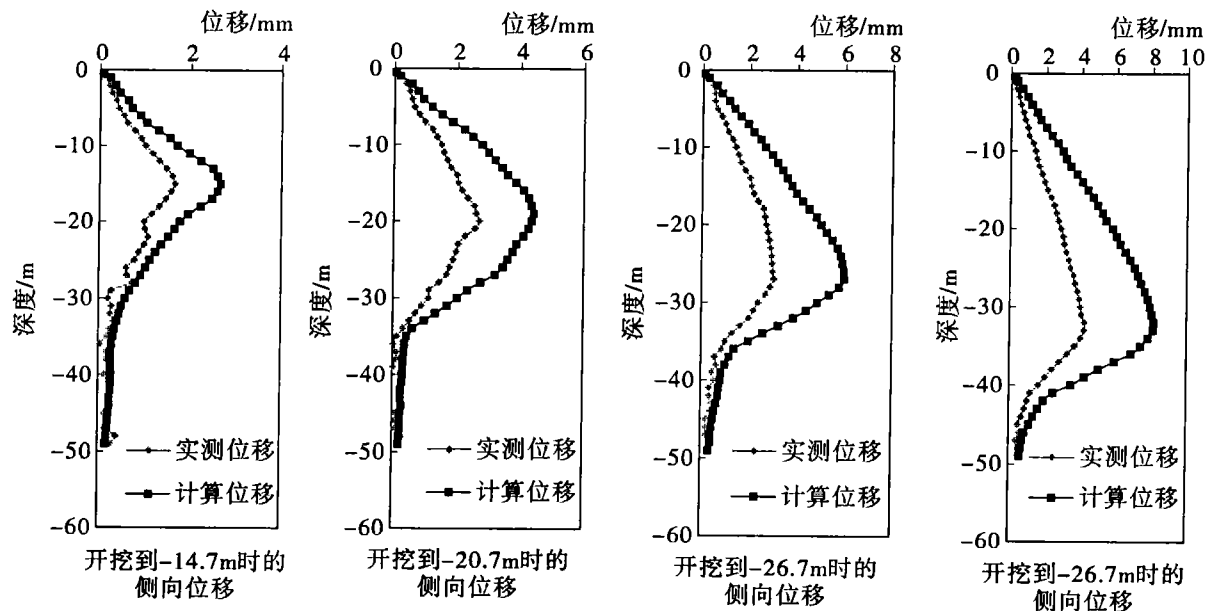


图3 围护结构侧向位移计算及实测曲线
Fig.3 Comparison theoretical and measured displacement values of excavation support

3 结论

本文通过对某特深圆形基坑考虑围护结构与土共同作用的三维数值分析,对围护结构的侧向变形和其后土压力进行了计算,并和实测的结果进行比较,得出以下结论.

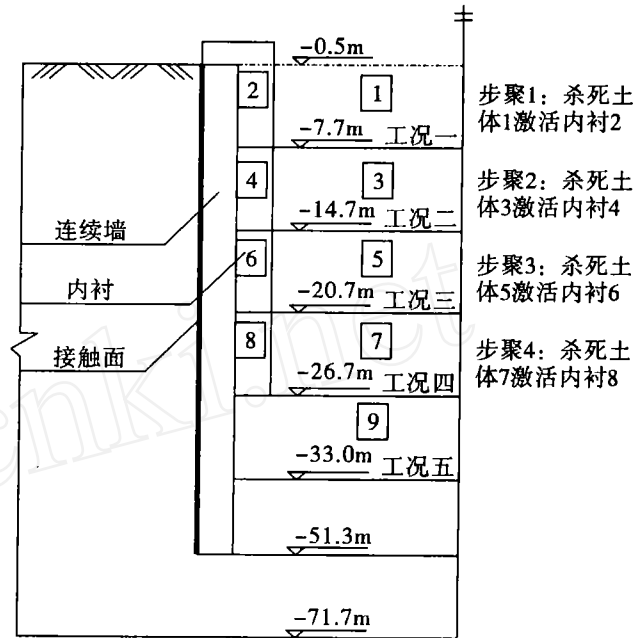


图2 “杀死”“激活”单元的过程示意图
Fig.2 Procedure of kill and birth of element

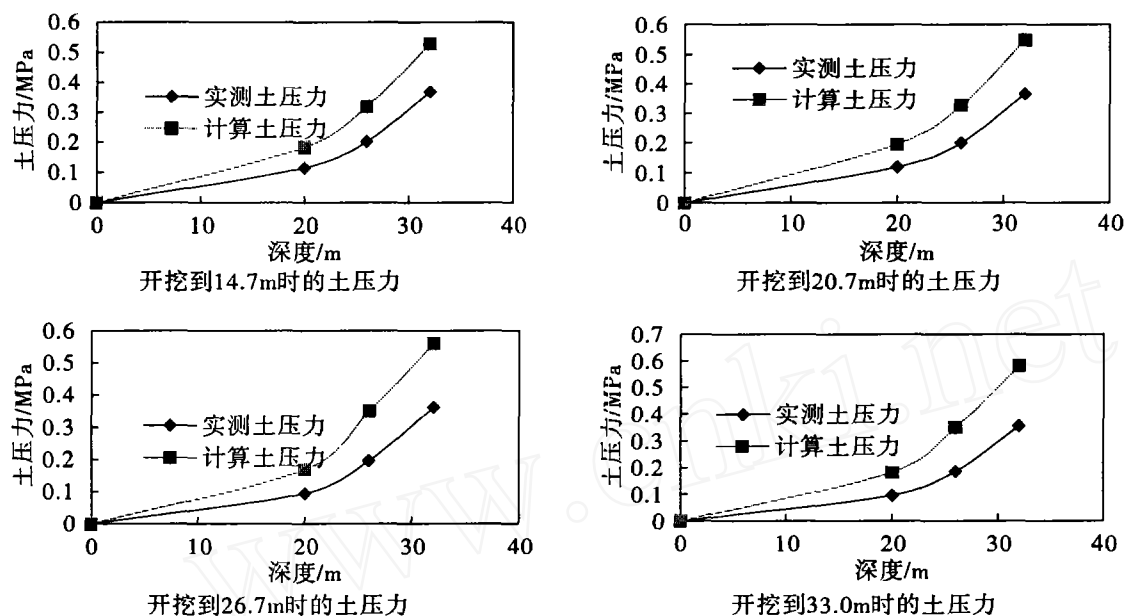


图4 计算土压力与实测土压力在深度方向变化曲线

Fig.4 Comparison theoretical and measured earth pressure of excavation support

1) 对一些复杂的地下结构,考虑三维性状及时变性来进行分析是必要的.从本文三维数值分析的结果,考虑土的非线性、施工工况及土与结构的共同作用对结构的变形有很大的影响.

2) 有限元分析应用于岩土力学已经有很长的时间,也是现有较为合理的分析方法,且取得了相当的成功,但在应用中存在很多的问题,最为明显的体现在参数的取值方面.文献[1]中对一些关键参数进行了敏感性分析,其结论很有参考价值.另外也可结合实测的资料,进行参数取值的反分析.

3) 用接触面单元来考虑结构与土共同作用是一种可行的方法,但因采用了接触面单元,计算往往会不收敛,需要适当进行调整其参数取值.

4) 圆形围护结构在拱效应作用下,变形小,其土压力接近静止土压力情况,工作性状不同于条形基坑,圆形地下连续墙具有很好的空间结构性.虽然对圆形基坑的工作性状的研究已经取得了一些很有价值的研究成果,但尚缺乏成熟的计算方法,对基坑的开挖的工作性状还需要进一步的研究.

参考文献:

- [1] 陆新征,宋二详,吉林,等.某特深圆形基坑考虑支护结构与土体共同作用的三维有限元分析[J].岩土工程学报,2003,25(4):488~491.
- [2] 俞建霖.基坑性状的三维数值分析研究[J].建筑结构学报,2002,23(4):65~70.
- [3] 周健,罗筱波.圆形支护结构的拱效应等效支撑计算方法[J].岩土力学,2003,24(2):169~172.
- [4] 梅传书,严驰,陆红,等.高层建筑基坑开挖的数值分析研究及工程应用分析[J].建筑结构学报,2001,22(3):81~87.
- [5] 王义,周健,胡展飞,等.圆形深基坑信息化施工监测[J].岩土工程界,2004,7(1):62~64.
- [6] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在ANSYS上的实践[M].西安:西北工业大学出版社,2000.