

双排围护桩桩体位移的 ADINA 三维有限元分析

杨保全¹ 杨堉果¹ 张思军²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007)

摘要 :简要分析了双排围护桩的结构特点,并结合一工程实例,利用 ADINA 有限元软件建立了双排围护桩的三维模型,对基坑开挖过程中桩体位移及不同排距情况下的桩体结构变形进行了计算。结果表明,支护结构变形云图较准确地反映了桩体各部分的位移特点,计算值与实测值接近,模拟效果较好。

关键词 :ADINA ;双排围护桩 ;排距

中图分类号 :TU473.1⁺2 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2007)S2-0083-03

近年来,随着高层建筑和各类地下工程的大量兴建,基坑围护工程越来越多。双排围护桩是一种新型的围护结构,这种结构具有较大的侧向刚度,可以有效地限制围护结构的侧向变形,因而其围护深度比一般悬臂式围护结构深。从结构上分析,双排围护桩如同嵌入土中的门式框架,与单排悬臂结构、内撑式围护结构相比,具有施工方便、挡土结构受力条件好等优点,因此在工程中得到了广泛的应用^[1]。

然而,作为一种较新型的支护形式,目前其设计计算理论尚不成熟,对于开挖过程中桩体结构的位移和受力情况研究也很少,且大多局限于二维分析。因此,笔者结合实际工程,利用大型有限元软件 ADINA 建立了双排围护桩结构的三维模型,对九华山隧道工程一基坑开挖过程中双排围护桩桩体的位移情况进行了模拟计算,并分析了不同排距对桩体结构变形的影响,其结果对于优化设计和指导工程实践都具有一定的现实意义。

1 双排围护桩支护结构特性

双排围护桩支护结构的位移主要受桩间土、桩周土及其自身结构强度的控制。它通过对桩间土的合理利用,发挥前后排桩之间的协调作用,充分挖掘支护结构材料的潜在能力,综合利用空间效应,产生大的侧向刚度,使支护结构的抗侧移能力大大提高。桩间土对前后排桩的土压力大小与前后排桩的排距有关,故双排围护桩结构可看成前后排桩都受到大小不等土压力作用的平面刚架。当排距较小时,土

压力主要由后排桩承担,前排桩只承受桩间土对其产生的较小的土压力,同时横梁对前排桩产生推力;随着排距的增大,前排桩承受的土压力也随之增大,直到承受几乎全部土压力,而横梁也由受压变为受拉。

当双排围护桩桩径与前后排桩排距变化时,其工作性状也发生变化:当排距较小时,只能视双排围护桩为增加自身刚度的叠合桩,桩土协同作用难以发挥,而当排距较大时,则可认为趋于拉锚桩,后排桩利用土抗力起到锚拉支撑作用,无从谈及桩土协同空间效应;只有当排距在某一范围内,双排围护桩才能发挥其受力条件好、位移小的特点^[2]。

2 工程概况及计算模型

2.1 工程概况

南京九华山隧道工程是南京市城市快速内环的重点路段,其主体结构分为湖中段及陆地段,其中湖中段两侧基坑垂直开挖段与放坡开挖段过渡段采用双排围护桩支护结构。基坑平面为矩形,长约 28 m,宽约 19 m,开挖深度 9.4 m。据地质勘察及基坑设计支护施工图,施工范围土体分为 3 层:①层以淤泥、杂填土、素填土为主;②层为淤泥质亚黏土、粉土、粉砂;③层为粉质黏土、粉质黏土混碎石、砾石。支护结构桩体采用钻孔灌注桩,前后两排桩共 23 根,呈“丁”字形布置,桩长均为 19.15 m,桩径为 1.1 m,前排桩桩间距为 1.3 m,后排桩桩间距为 2.6 m,前后排桩排距为 3.6 m,桩顶以连梁连接,连梁厚 0.4 m。

2.2 三维有限元模型

本文利用 ADINA(automatic dynamic incremental nonlinear analysis)有限元分析软件建立模型并进行有限元计算。该软件是对固体、结构及结构-流体系统作静、动位移和应力分析的一个计算机程序,对于分析静力的线性、非线性问题具有较强的适应性。

根据矩形基坑的对称性,为了减小计算规模,取 1/4 基坑为研究对象建立模型,同时将研究区域竖向边界扩大至开挖面以下 28.2 m,水平边界范围自基坑边缘向外延伸 28.2 m。考虑到前排桩间净距只有 0.2 m,相对于 1.1 m 的桩径而言很小,根据文献 [3] 中等效抗弯刚度的方法,将前排桩等价成连续介质,后排桩、圈梁以实体建模。为分析基坑开挖过程中不同阶段桩体位移情况,利用 ADINA 程序中的单元生死功能来模拟基坑开挖过程,计算过程中将基坑设置为分 3 步开挖:第一步开挖至 3.4 m,第二步、第三步再分别开挖 3 m。

有限元分析中,土体选用 Mohr-Coulomb 理想弹塑性模型,桩体、盖梁选用线弹性材料;采用水土合算的方法来考虑地下水,划分单元时,采用对模型手工划分单元的方法,在基坑周围支护结构区域划分较密,离基坑较远处网格划分渐疏,单元划分选用四结点平行六面体单元,最终桩体共划分 3 040 个三维单元,盖梁共划分 710 个三维单元,土体共划分 50 370 个三维单元,整个模型共 58 499 个结点。剖分后的有限元模型如图 1 所示。

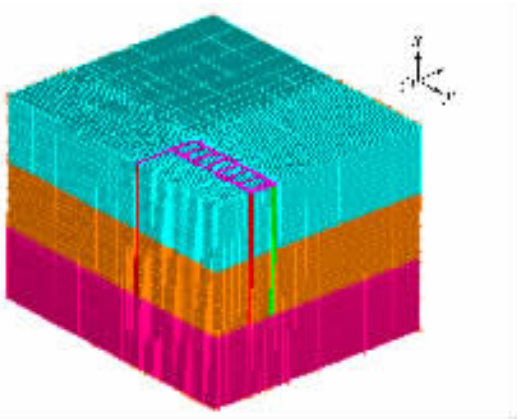


图 1 有限元计算模型

2.3 计算参数选择

计算模型中土层的物理力学参数及支护结构计算参数取值见表 1 和表 2。

表 1 土体物理力学参数						
土层	厚度/ m	变形模量/ MPa	泊松比	密度/ (kg·m ⁻³)	内摩擦 角/(°)	黏聚力/ kPa
①	3.2	6.2	0.35	1750	18	12
②	9.4	8.3	0.33	1850	20	15
③	15.6	15.6	0.30	1900	20	25

表 2 桩体、盖梁物理力学参数

材料	弹性模量/10 ⁴ MPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)
桩体	3	0.166 7	2 500
盖梁	2	0.166 7	2 200

3 计算结果及分析

通过计算,得到在基坑开挖至 3.4 m,6.4 m 和 9.4 m 时对应的前、后排桩桩体水平方向最大位移量及最大变形出现的位置,如表 3 所示。

表 3 基坑开挖不同阶段支护结构位移结果				
工 况	前排桩最大 位移/mm	前排桩最大 变形位置	后排桩最大 位移/mm	后排桩最大 变形位置
开挖 3.4 m	- 9.06	基坑中部桩顶	- 9.01	基坑中部桩顶
开挖 6.4 m	- 19.95	基坑中部桩顶	- 19.89	基坑中部桩顶
开挖 9.4 m	- 31.34	基坑中部桩顶	- 31.27	基坑中部桩顶

从表 3 中可以看出,当在基坑开挖深度由 3.4 m 到 6.4 m 再到 9.4 m 时,支护结构相应的最大位移从 - 9.06 mm 到 - 19.95 mm 再到 - 31.34 mm,可见开挖深度对支护结构变形的影响非常明显,而且相同的是,在 3 个时刻支护结构最大变形位置均出现在基坑中部桩顶处。当基坑开挖完毕至 9.4 m 时,支护结构水平位移云图及变形云图分别如图 2 和图 3 所示。

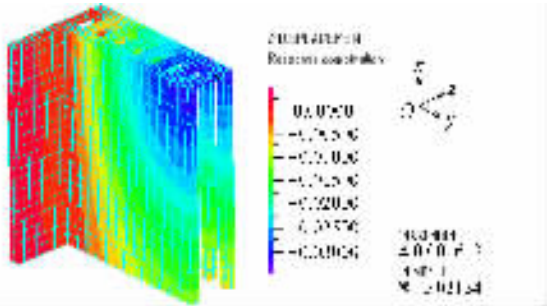


图 2 开挖 9.4 m 支护结构水平位移云图

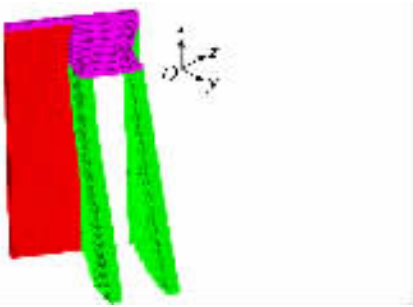


图 3 开挖 9.4 m 支护结构变形云图

通过位移云图发现,由于支护结构前排桩连续分布,为主要受力部分,而后排桩间隔分布,为空间协同受力,通过桩间土体力的传递作用共同抵抗变形,此时前排桩底部位移较后排桩大许多。

另外,通过不同时刻支护结构位移云图对比发现,在基坑开挖过程中,支护结构在其拐角处侧向位移最小,向基坑中部侧向位移逐渐增大,沿基坑深度

方向,基坑开挖面以上支护结构侧向位移增大较快,在桩顶处位移达到最大值。

将开挖 9.4 m 后双排围护桩前排第 15 号桩、后排第 8 号桩(分别为前、后排顶端位移最大的桩)的位移计算结果与其桩体上所设置的测斜管实测位移进行对比,结果表明有限元计算位移与实测位移分布规律基本符合,反应了基坑开挖过程中支护结构的变形特征,但是两者仍存在一定差异,主要表现在 ①基坑开挖面以上有限元计算水平位移值普遍偏小,而实测位移值相对较大。分析其原因,是在有限元计算过程中,基坑外侧未考虑荷载作用,而实际施工过程中,施工机械在基坑周围施加的外荷载、坑边堆放的大量建材,都有可能导致基坑支护结构上部水平位移变大。②基坑开挖面以下计算位移值较测斜管实测位移值大,其原因可能是基坑开挖到设计深度以后,根据设计与监测要求,现场立即施工隧道底板,避免了基坑在无支撑状态下暴露时间过长,底板对支护桩起到很好的限制水平位移的作用,因此,在开挖面以下实测桩体侧向位移值较计算值偏小,也说明基坑开挖施工过程中对基底软土处理和及时施工底板对基坑稳定意义重大。

4 排间距对桩体位移影响

在双排围护桩结构设计中,排距是对其工作性状影响较大的一个因素,因此,笔者在上面模型的基础上以排距 $2d$ $3d$ $4d$ $5d$ $6d$ $8d$ (d 为桩径)分别建立三维模型,来分析不同情况下的前、后排桩体最大位移的变化。

本次计算取基坑长边方向前后排桩为研究对象,通过计算结果云图发现,在前后排桩排距较小时(排距为 $2d$ $3d$),前后排桩水平位移趋势大体相同,可见在基坑规模不大的情况下,桩顶圈梁设计为大刚度盖梁形式可以很好地控制支护结构桩顶水平位移,协调前后排桩共同变形,提高结构稳定性。

另外,各种排距情况下,支护结构最大水平位移均出现在基坑中部桩体,其中前排为第 15 号桩,后排为第 8 号桩,且向着基坑拐角方向支护结构水平位移逐渐减小,这表明支护结构变形具有明显的空间效应。统计前排 15 号桩、后排 8 号桩的在不同排距情况下的水平位移数据,其结果如图 4 和图 5 所示。

通过对计算结果的对比分析可以看出,当前后排桩排距较小时,如 $(2 \sim 3)d$,双排围护桩视为增加自身刚度的叠合桩,前后排桩空间协同作用较弱,排桩、盖梁和桩间土组成的围护结构的抗弯刚度相对较小,支护结构变形相对较大;当前后排桩排距较大,如大于 $6d$ 时,后排桩所受桩后土压力减小,对

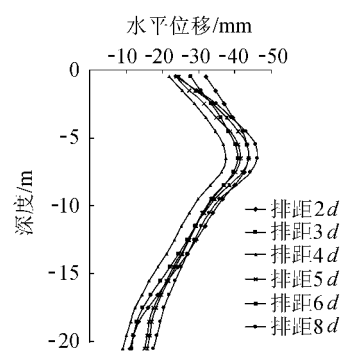


图 4 前排 15 号桩水平位移

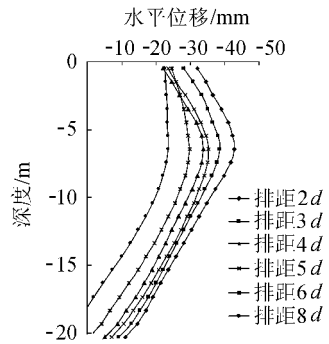


图 5 后排 8 号桩水平位移

前后排桩间土作用减弱,协同前排桩共同抵抗变形的作用减弱,只是通过桩顶盖梁作用来保持桩顶变形一致,此时的后排桩受力类似拉锚桩。因此,综合分析前后两排桩的位移,本文认为最合理排距为 $4d$ 。

5 结 语

a. 本文利用 ADINA 有限元软件,以九华山隧道工程为背景建立双排围护桩三维模型,经计算支护结构位移计算值与实测值接近,变化特征基本一致,较好地反映了工程实际情况,计算结果可靠。

b. 双排围护桩是一种空间门架式支护结构,前后排桩变形存在显著的空间效应,以基坑中部桩为最大,向基坑拐角处逐渐减小,呈抛物线形分布。

c. 仿真计算结果表明,开挖深度对支护结构位移影响明显,同时,连梁在协调前后排桩位移方面作用显著。

d. 通过不同排距的计算对比,结果得到排距为 $4d$ 时桩体与盖梁协同抵抗变形的能力较好,这可作为双排围护桩设计施工时的参考。

参考文献:

[1] 龚晓南,高有潮.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
[2] 孙家乐,张钦喜,许宝华.深基空间组合支护桩设计与工程应用[J].工业建筑,1999(9):8-13.
[3] 熊巨华.一类双排桩支护结构的简化计算方法[J].勘察科学技术,1999(2):32-34.

(收稿日期 2006-11-11 编辑 熊水斌)