

文章编号:1671-6833(2008)01-0066-04

水泥土连拱支护结构的三维有限元分析

郭院成¹, 杨文², 周同和³

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 国家电力公司 中南勘测设计研究院, 湖南 长沙 410014; 3. 郑州大学 综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘要: 采用有限元方法, 建立了水泥土连拱支护结构考虑结构与土共同作用的三维模型, 对该结构进行了数值模拟计算. 计算结果分析表明, 其墙后土压力大小介于静止土压力与朗肯土压力之间, 沿竖向呈三角形分布, 沿水平向介于水平均布与径向均布之间, 土压力作用在支护结构后将沿水平及竖向分配, 水平拱体分担的荷载比例最大值在60%~70%之间, 水泥土拱基本处于全截面受压状态, 拱脚桩在开挖面以上的受力模式与悬臂桩类似, 沿全长其弯矩最大值在开挖面位置.

关键词: 基坑支护; 水泥土连拱; 土压力; 拱体; 有限元; 数值模拟

中图分类号: TU 470+.3

文献标识码: A

0 引言

水泥土连拱组合结构属于拱式围护结构的一种, 是在重力式水泥土挡墙的基础上改进而成的一种新型支护结构(如图1所示), 在抗弯、抗剪、抗侧移能力方面具有显著技术优势.

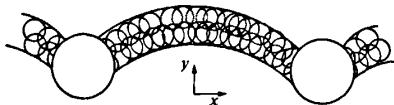


图1 水泥土连拱支护结构

Fig.1 Sketch of continuous arched soil-cement retaining structure

目前, 基坑拱形支护结构的设计计算还未形成统一的模式. 文献[1]建议在竖向取一单位高度的水平拱来进行设计计算. 文献[2-3]将拱形围护结构简化为平面结构计算, 建议按水平向和竖向两部分分别进行计算. 文献[4]引入拱坝分析中的拱梁法来分析拱形围护结构, 考虑了拱冠处拱与梁的变形协调. 文献[5]根据反力参数法思想, 通过将弹性抗力法与拱梁法有机地结合, 把拱梁法改造成拱形围护结构内力变形计算的一种新方法. 文献[6]使用壳体理论来分析拱形围护结构的内力和变形, 通过求解壳体的微分方程, 结

合给定的边界条件, 得到拱形围护结构的内力和变形计算表达式. 文献[7]利用有限元程序 ANSYS, 采用“荷载—结构”法对悬臂拱形支护结构进行了分析, 得到了一些初步结论. 以上针对该支护结构的研究都没有考虑支护结构与土体的相互作用, 不能准确地反映实际情况. 笔者通过有限元方法建立水泥土连拱支护结构的三维模型, 对该结构进行数值模拟计算, 详细分析水泥土连拱支护结构的受力和变形.

1 水泥土连拱支护结构的数值模拟

1.1 有限元模型的建立

本算例设计坑深10 m, 采用连拱形水泥土支护结构. 起拱高度为2 m, 拱壁厚1.2 m, 拱净跨3.6 m, 拱中心跨4.8 m, 单拱脚采用2 Φ 1 200 mm混凝土灌注桩, 灌注桩中心距4.8 m. 水泥土搅拌桩插入深度5 m, 灌注桩插入深度10 m, 有限元模型如图2所示. 作为对比, 在同等坑深和土质条件下, 计算了悬臂排桩支护的相应结果. 排桩使用C20混凝土灌注桩, 直径800 mm, 间距1 200 mm, 插入深度10 m.

1.2 基坑及支护结构的位移分析

水泥土连拱支护结构水平侧移计算显示, 坑外土的侧移以圆弧滑动为主, 与常规手段分析结果一致. 土的位移与水泥土拱、水泥土拱与拱脚桩

收稿日期: 2007-10-04; 修订日期: 2007-12-28

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0611010300)

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深基坑支护工程方面的理论和应用研究, E-mail: guoyc@zzu.edu.cn.

的水平位移连续,但是在支护结构顶部附近,土体的侧移小于支护结构的侧移,说明在顶部土体与支护结构略有脱开,这 and 实际工程的表现是一致的。脱开的原因是因为土体具有一定的自立高度,与拱顶部位不协调。

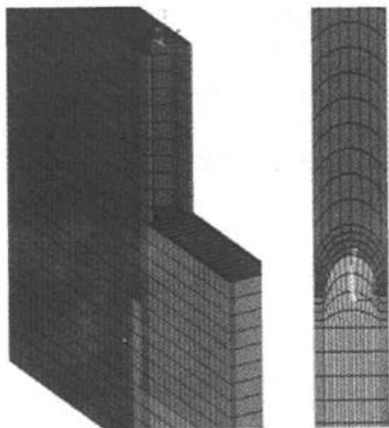


图2 水泥土连拱支护结构有限元模型
Fig.2 FEM model of continuous arched soil - cement retaining structure

连拱支护结构、悬臂排桩支护结构及相应土体的水平位移如图3所示。可以看出,拱形围护结构在限制侧移方面的能力优于直线围护结构。且无论是曲线或直线围护结构,土体自立高度都是存在的,而且其值基本不变。

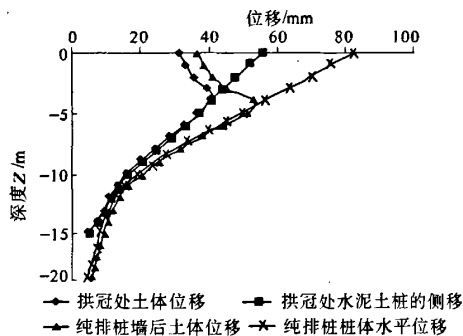


图3 支护结构及土体水平位移图
Fig.3 Horizontal displacement of retaining structure and pit soil

基坑的竖向位移图如图4所示。由图可知,坑外的沉降表现为靠近支护结构附近较小,沿坑外方向,沉降先增大后减小,成“U”型模式;坑内的隆起表现为越靠近支护结构越小,越靠近基坑中心面越大,呈渐进增长模式。

1.3 土压力分析

实际工程中,支护结构限制了土体的侧移,使

墙后土压力很难达到极限状态,数值模拟结果如图5所示。由图看出,土压力沿竖向基本呈三角形分布,其大小介于朗肯主动土压力与静止土压力之间。在基坑顶部附近,土压力出现了拉应力,表明此处为土体自立高度。沿基坑往下,土压力逐渐增大,越接近顶部,土压力越靠近朗肯土压力;越接近底部,土压力越靠近静止土压力,反映出土体位移顶部大、下部小的分布特征。在支护结构底部,土压力出现了一个拐点。反映出在该位置土体绕过支护结构向坑内滑动,导致位移增大,使此处土压力反而减小,这与文献[3]的实测资料一致。

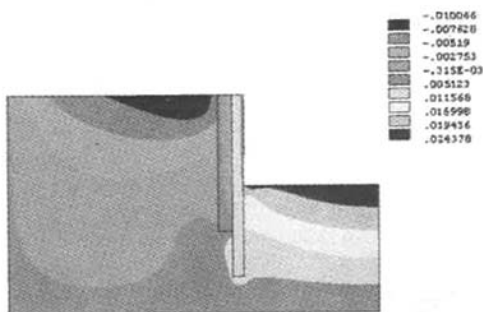


图4 基坑竖向位移图
Fig.4 Vertical displacement of pit excavation

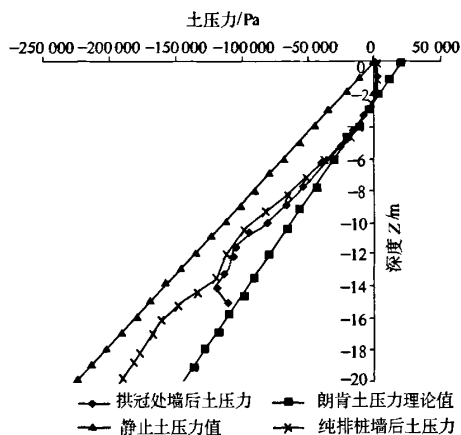


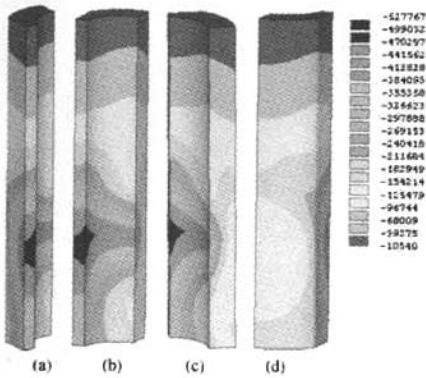
图5 主动区土压力沿竖向分布图
Fig.5 Vertical distribution of earth pressure in active area

1.4 拱壁分析

图6及图7表示了水泥土拱的主应力状态。

由图可以看出,拱壁基本处于全截面受压状态,尽管其第一主应力出现了拉应力区域,但该区域范围较小,且拉应力值也较小(不到100 kPa),这说明拱形围护结构受力合理。因此,拱壁使用水泥土材料,不仅能满足基坑安全要求,而且施工方

便、价格低廉,更可以兼作止水帷幕,有较好的技术经济效益。



注:图中,(a)表示在拱脚的位置斜视图,(b)表示在坑内的位置正视图,(c)表示在拱跨中的位置正视图,(d)表示在坑外拱背的位置正视图.以下与此同.

图 6 水泥土拱 σ_3 图

Fig.6 σ_3 of soil - cement arch

图 7 水泥土拱 σ_1 图

Fig.7 σ_1 of soil - cement arch

1.5 拱脚桩分析

图 8 表示了拱脚桩及悬臂排桩在半跨荷载作用下的弯矩图,由图可以看出:

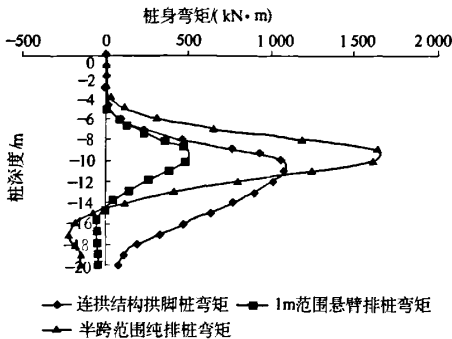


图 8 支护结构弯矩图

Fig.8 Bending moment diagram of retaining structure

(1) 土体存在自立高度,使两种围护形式在该范围内弯矩基本为零,实际工程中,对该范围的土体可以考虑放坡直接开挖;

(2) 在开挖面以上,拱脚桩呈现出悬臂受力模式,弯矩不断增长,最大值出现在开挖面附近,说明拱脚桩的受力形式基本与悬臂排桩相同,其承受的荷载分布形式也基本与之相同;

(3) 拱脚桩产生的弯矩值小于相同跨度悬臂排桩的弯矩值,说明拱形围护结构存在着荷载分配效应^[8],即作用在支护结构上的土压力,只有一部分通过拱体传递到拱脚桩进而由被动区土体抵抗,而另一部分荷载则通过拱体直接传递到被动区;

(4) 开挖面以下拱脚桩的弯矩逐渐减小,而悬臂排桩则出现了反弯点,这说明二者在下部的受力略有不同;结合第(2)条,对拱脚桩而言,将其视为一悬臂构件,仅计算其开挖面以上部分,合理且偏于安全。

据此分析,可以把作用在支护结构上的外部主动区土压力 q_a 分为 q_v 及 q_h ,其中, q_v 表示作用在拱身、沿拱身竖向方向往基坑底部传递的土压力,此时按拱的受力特征,称其为竖向拱体; q_h 表示作用在水平拱单元体上、进而传递到拱脚桩上的土压力,此时称拱体为水平拱体。

根据文献[8],引入水平拱体土压力分担系数 ξ ,即

$$q_h = \xi q_a \quad (1)$$

水平拱体土压力分担系数 ξ 在开挖面以上的变化曲线如图 9 所示.由图看出 ξ 值恒小于 1,其最大值约为 0.6,表明水平拱体及拱脚桩分担的土压力仅约为主动区土压力 q_a 的 60%,其余部分将由竖向拱体承担.不考虑土体自立高度范围内的值, ξ 沿深度增大而增加,说明由于被动区土体对拱脚桩位移的限制作用,使竖向拱体承担的一部分荷载也转移到了拱脚桩上。

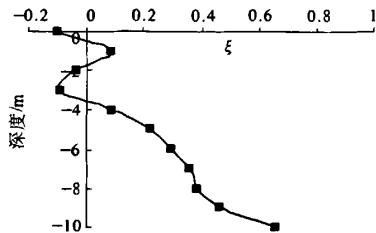


图 9 水平拱体土压力分担系数沿基坑深度变化图

Fig.9 Variation along pit depth of earth pressure bearing coefficient of horizontal arch body

3 结论

通过对水泥土连拱支护结构的三维数值模拟计算,证明了拱形支护结构在变形控制方面的显著技术优势,主要结论如下:

(1) 作用在连拱支护结构上的土压力,大小介于朗肯主动土压力与静止土压力之间,其分布特征介于水平均匀分布和径向均匀分布之间;

(2) 水泥土连拱支护结构在承受土压力时,沿水平与竖直两个方向分配和传递的情况是存在的;水平拱体分担的荷载比例最大值大概在 60% ~ 70% 之间;

(3) 水泥土拱基本处于全截面受压状态,仅存在较小的拉应力区域,且拉应力值较小,可充分发挥水泥土材料的受力性能;

(4) 开挖面以上拱脚桩的受力模式及其承担的荷载分布形式与悬臂排桩基本一致,对拱脚桩按其分担的荷载,仅计算其开挖面处的内力值在工程中是偏于安全的。

参考文献:

- [1] 蔡伟铭,李有成. 拱形水泥土槽壁支护[J]. 岩土工程学报,1992,14(2):21~27.
- [2] 陈德文. 南京新世纪广场深基坑连拱式组合拱结构支护设计[J]. 工业建筑,1995,29(9):20~24.
- [3] 李俊才. 软土深基坑开挖现场测试及三维数值模拟研究[D]. 成都:成都理工学院工程地质研究所,2001.
- [4] 俞洪良,张士乔,杜先. 基于拱梁法的拱形水泥土支护结构的性状分析[J]. 工业建筑,1998,28(9):7~11.
- [5] 张士乔,张仪萍,龚晓南. 基于拱梁法原理的深基坑拱形围护结构的分析[J]. 土木工程学报,2002,35(5):64~69.
- [6] 潘泓,杨小珊,吴世明. 拱形支护结构的内力、变形计算[J]. 建筑结构学报,2001,22(5):92~96.
- [7] 刘维威. 悬臂式连拱组合支护结构的三维有限元分析[D]. 天津:天津大学建筑工程学院,2004.
- [8] 杨文. 水泥土连拱支护结构的数值模拟及性状分析[D]. 郑州:郑州大学土木工程学院,2007.
- [9] 郭院成,王立明,秦会来,等. 椭圆形水泥土桩支护结构的优化设计[J]. 郑州大学学报:工学版,2003,24(3):39~42.

Three Dimensional FEM Analysis of Continuous Arched Soil - cement Retaining Structure

GUO Yuan - cheng¹, YANG Wen², ZHOU Tong - he³

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Central - South Hydroelectric Investigation & Design and Research Institute of State Power Corporation of China, Changsha 410014, China; 3. Multiple Design & Research Institute of Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The Continuous Arched Soil - cement Retaining Structure (CASRS) is analyzed in this paper. The FEM method is employed and a three dimensional model considering the interaction between the bracing structure and the soil is built for carrying out numerical simulation. The result shows that the earth pressure in active area is of triangularly distribution in vertical direction, and of a distribution between horizontal equal and radical equal in level direction, which has a value between static earth pressure and Rankine earth pressure. The earth pressure is allocated along vertical and horizontal directions, and a maximum part of about 60% ~ 70% is assigned to the horizontal arch body. The most part of soil - cement arch body is under compressive state, and the force pattern of spring pile above excavation depth is similar to a cantilever pile, of which the maximum bending moment is located at excavation depth.

Key words: pit retaining; continuous arched soil - cement retaining structure (CASRS); earth pressure; arch body; FEM; numerical simulation