

土岩组合地层深基坑支护技术实例探讨

吴燕开, 牛 斌

(山东科技大学 土木建筑学院 山东 青岛 266590)

摘 要:分析了土岩组合体地层深基坑开挖特点,对其支护方式进行了分析,认为分段开挖支护方式可以实现安全、经济的目的。以青岛某土岩组合为例,对采用桩锚联合微型钢管桩的支护方式进行了数值模拟计算,得到了该支护方式下基坑变形的特点,认为桩锚联合微型钢管桩支护是土岩条件下较为理想的一种支护方式。

关键词:土岩组合;基坑支护;桩锚;微型桩

中图分类号:TU753

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)04-0034-06

Case Study on Deep Foundation Pit Supporting Technology in Area of Rock and Soil

Wu Yankai, Niu Bin

(College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: The characteristic of the soil rock combination strata characteristics of deep foundation pit excavation was first analyzed, and then the means of support. It is considered that excavating and supporting of the segment can realize the purpose of safety and economy. One area of soil and rock in Qingdao is taken for example, with the supporting method simulated and the characteristics of foundation pit deformation obtained. It is concluded that the supporting method is an ideal way of supporting for the pile anchor combined with micro steel pipe piles in areas of rock and soil.

Key words: soil rock combination; foundation pit supporting; pile anchor; micro pile

随着城市建设的快速发展,基坑的开挖深度也越来越深,深基坑支护已成为工程建设面临的重要问题之一。目前我国对深基坑支护无论是在工程实践还是在理论方面均形成一套较为成熟的理论体系,我国部分省市均颁布了各自基坑规范或规程。但是,对于在土岩组合体地区开挖的深基坑工程,其支护方法以及支护理论分析方面还未形成统一的认识,未形成相关的规范或规程。

对于土岩组合体深基坑支护的研究已取得一定研究成果,朱志华等^[1]对青岛市区土岩组合体深基坑支护方式进行了统计,认为青岛地区土岩组合体地层支护在土层中采用桩锚、岩层采用锚喷的支护方式是合理可行的。统计结果也表明,在有一定放坡空间的条件下,大部分的青岛地区土岩组合体基坑支护均采用锚喷支护,该支护形式占 50.8%。丁文龙^[2]对采用排桩在土岩组合体地层中的支护变形特性进行了分析,但桩的入岩深度会受限于成桩的机械或方法。周贺^[3]分析了桩+内撑在土岩组合体地层支护中的沉降变形规律。由于基岩自身的稳定性较好,还有部分学者提出了用微型桩进行支护,并对其支护特点进行了研究^[4-6]。朱祥山^[7]认为土岩组合地层采用排桩+锚喷的支护方式更为经济可行,刘涛等^[8]对土岩组合体基坑的稳定计算进行了分析。上述研究成果为土岩组合条件下的深基坑支护提供了有力的理论支持。

收稿日期:2013-04-19

基金项目:山东科技大学科研创新团队支持计划项目(2012KYTD104)

作者简介:吴燕开(1976—),男,广西贵港人,讲师,博士,主要从事地下工程支护、地基处理等方面的研究工作。

E-mail:wuyankai2000@163.com

目前,大部分的研究成果均是针对单一的支持方式进行分析,考虑到土层与岩层两者自身的强度不同,为充分发挥各自的特点,本研究主要针对土层与岩层分别采用不同的支持方式——桩锚联合微型管桩的支持方法,对开挖后基坑的变形特点进行分析,探讨土岩组合体在该支持方式下的支持效果,为类似条件下的基坑开挖支持提供参考。

1 土岩组合体深基坑开挖特点

土岩组合土体深基坑开挖过程中,由于上部第四纪土层强度较低,而下部的基岩强度较高,形成了上软下硬的特殊组合地层。如果在同一剖面对两种土体采用单一的支持方式,较难协调两者间的变形关系,特别是对于无放坡空间、需垂直开挖的土岩组合体下的深基坑工程。土层与岩层的接触界面,往往会形成一个软弱滑动面,因此如选择的支持方式不恰当,较容易沿着这一界面出现滑动。

下部的基岩开挖,由于机械难以挖动基岩,在开挖过程中必须采用爆破的方式进行。爆破过程产生的振动波会对边坡支持结构产生较大的影响,威胁到支持边坡的稳定性。因此对于土岩组合体深基坑,土层力学性质差异较大、开挖方式不同、有明显的软弱结构等特点。

2 土岩组合体支持主要方式

根据土岩组合体深基坑开挖的特点,结合已有深基坑支持工程实例,垂直开挖的深基坑采用排桩支持时,在强风化及中风化基岩上成桩较为困难,不能充分发挥基岩自身较为稳定的特点。单独的微型桩在土岩深基坑支持中刚度较小,难以满足对上部土层变形控制的要求。

因此,土岩组合体的深基坑支持一般采用桩锚支持或复合土钉墙的支持形式较多,复合土钉墙要求有一定的放坡空间,在垂直开挖的土岩地层中,桩锚支持占主要部分。土岩组合体这种上软下硬的土层结构,在支持设计中要充分发挥下部基岩强度大、稳定性高的特点,在支持设计过程中,往往会将下部基岩的支持与上部第四纪土层支持分别采用不同的支持方式,如排桩+锚喷,是目前用得较多的。但在垂直开挖的深基坑中,锚喷与桩脚结合部位往往是支持的薄弱环节,较易出现安全事故。

在垂直开挖的土岩组合土层深基坑中,考虑到排桩对变形控制的效果,同时结合下部基岩自身稳定性较强的特点,在深基坑支持工程采用分层支持,即上部采用排桩(或桩锚),下部采用微型桩的支持形式,既能充分发挥下部基岩稳定性强的特点,又能对上部土层的变形起到较好的控制作用。本文重点对桩锚联合微型钢管桩在土岩组合地层中的深基坑支持进行分析,对其变形特点及适用性进行探讨。

3 工程实例分析

拟建工程位于青岛经济技术开发区长江路世纪商城以南,井冈山路瑞泰利群以西,珠海路敖海星城以北,庐山路家佳源以东。基坑拟开挖深度最深处为 14.5 m,基坑全周长约 603.2 m。基坑周边建筑较密集,西侧和南侧均有建筑,北侧和东西为城市主干道,地下埋有管线。场地土层分布情况为:①素填土;②淤泥质粉土;③残积土;④强风化凝灰岩;⑤中风化凝灰岩。场地稳定水位埋深 1.1~3.6 m。

基坑周边管线密集而且离建筑物较近,开挖深度最深处达 14.5 m,地下水位埋藏较浅,在开挖深度范围内有土层也有岩层,岩层主要以强风化和中风化为主。考虑到该基坑土岩组合这一特殊的地层土体,同时通过对排桩、桩锚、复合土钉墙以及地下连续墙等深基坑常用支持方案的分析对比,在既保证安全,又满足支持方案经济性条件下,基坑支持对土层和岩层分开来进行。土层部分采用人工挖孔灌注桩,桩径 1.0 m,桩间距为 1.2 m,桩顶端平地面,桩端嵌入强风化花岗岩不小于 1.0 m,基岩部分采用钢管微型桩,微型桩成孔直径为 150 mm,采用直径 127 mm、厚 6 mm 的无缝钢管插入孔内,以 0.5 MPa 压力,从桩底往上注入水灰比为 0.5 的水泥浆液。为进一步控制好基坑侧壁的水平位移,在土层部分设置三道预应力锚索,水平间距为 2.6 m。岩层部分设置两道预应力锚索,水平间距为 2.0 m。人工挖孔桩以及微型桩顶部均设置 1000×8000 mm 冠梁,预应力锚索处设置 400×300 mm 腰梁,支持剖面图如图 1 所示。

基坑止水方案采用“止水帷幕+坑内明排”方案,基坑四周设置止水帷幕,止水帷幕采用双排水泥搅拌

桩,坡顶通过设置截水沟、坑内采用明排方式排水。

该支护方案合理解决了在强风化和中风化中长螺旋钻机无法施工的缺点,缩短了施工工期,下部采用微型桩,既充分发挥了基岩自身较为稳定的特点,同时又协调土层与岩层存在的变形差异问题,使得土层与岩层二者紧密相结合,在二者界面处不会出现软弱界面,增加了基坑坡体的稳定性。

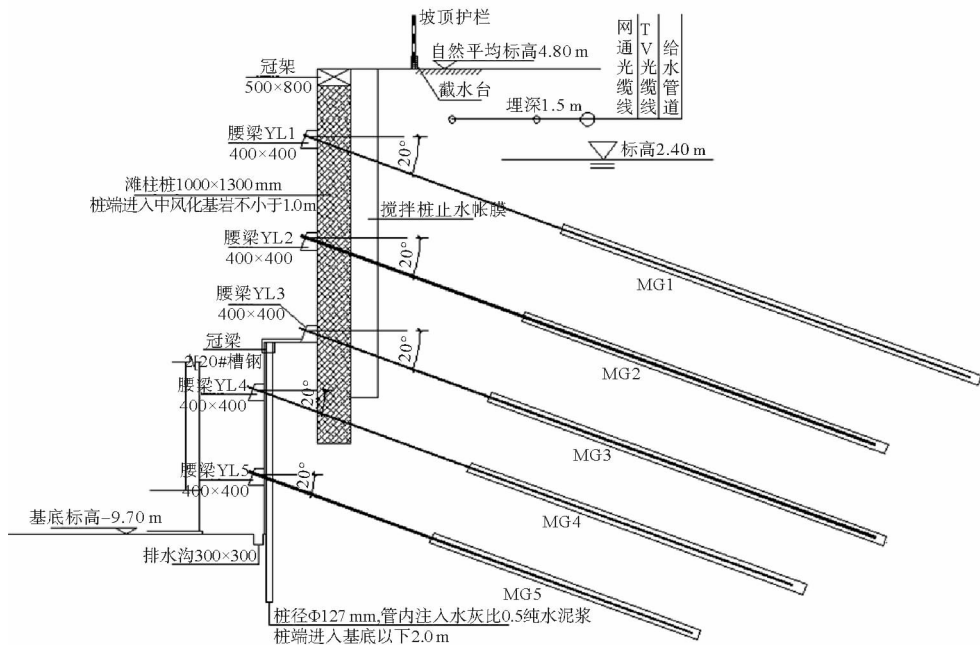


图 1 基坑支护剖面

Fig. 1 Profile of foundation pit supporting

4 数值模拟计算

为进一步验证方案的可行性,利用岩土工程有限元软件 Plaxis 对该基坑支护开挖进行数值模拟,分析该基坑在桩锚及微型钢管桩联合支护下的变形特性,进一步分析桩锚联合微型桩在土岩组合体地层基坑支护中的适用性。

Plaxis 是一个二维有限元软件,因此将基坑简化为平面应变模型,桩采用板单元,土体采用摩尔-库伦模型,岩体采用弹性模型。微型钢管桩弹性模量 $E=220\text{ GPa}$,注浆体弹性模量 $E=25.5\text{ GPa}$ 。在模拟计算中,各土层的计算参数如表 1 所示。

表 1 各土层模拟计算参数表

Tab. 1 The simulation parameters of every soils

项目	素填土	淤泥质土	残积土	强风化基岩	中风化基岩
土层厚度/m	4.0	2.5	1.0	7.0	至模型底
弹性模量/MPa	12	10	20	40	5000
泊松比 ν	0.35	0.38	0.3	0.25	0.2
$\gamma_{\text{unsat}} / (\text{kN/m})$	18.5	19.0	19.5	24	25
$\gamma_{\text{sat}} / (\text{kN/m})$	19.0	19.5	20.0	24	25
粘聚力 c / kPa	4	25	30	10	30
摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	20	5	12	20	45
剪胀角 $(^{\circ})$	0	0	1	5	5

人工挖孔桩采用板单元模拟,材料参数如表 2 所示,钢管桩采用板单元模拟,材料参数如表 3 所示。

表 2 人工挖孔桩模拟计算参数表

Tab. 2 The simulation parameters of manual hole digging pile

人工挖孔桩模拟计算参数	数值
抗弯刚度 $EI/(kNm^2/m)$	9.1×10^5
轴向刚度 $EA/(kN/m)$	2.2×10^7
泊松比 ν	0.26

表 3 微型钢管桩模拟计算参数表

Tab. 3 The simulation parameters of micro steel pipe piles

人工挖孔桩模拟计算参数	数值
抗弯刚度 $EI/(kNm^2/m)$	2.2×10^3
轴向刚度 $EA/(kN/m)$	1.2×10^3
泊松比 ν	0.26

锚杆锚固段采用土工格栅模拟,自由段用点对点锚杆模拟,锚杆水平间距为 2.0 m。具体模拟计算参数如表 4 所示。

建立模型并选用精细密度的网格,对锚索、桩部位进行局部加密,单元采用精度较高的 15 节点的三角形单元法进行网格剖分,共划分 1154 个单元,9531 个节点,如图 2 所示。

表 4 锚索模拟计算参数表

Tab. 4 The simulation parameters of anchor cable

	2 束钢绞线	3 束钢绞线
点对点锚杆轴向刚度 $EA/(kN/m)$	72 584	108 876
土工格栅轴向刚度 $EA/(kN/m)$	195 952	209 714

根据实际施工工况,对基坑进行模拟开挖,共分为 14 个工况进行模拟。图 3 为基坑开挖至坑底的水平位移云图。由该图可知,基坑最大水平位移出现在基坑顶面以下 2.0 m 处,最大水平位移达 16.6 mm,很好地控制了基坑顶部的水平位移。在基岩部分,基坑水平位移量较小,变形主要集中在土层部分。

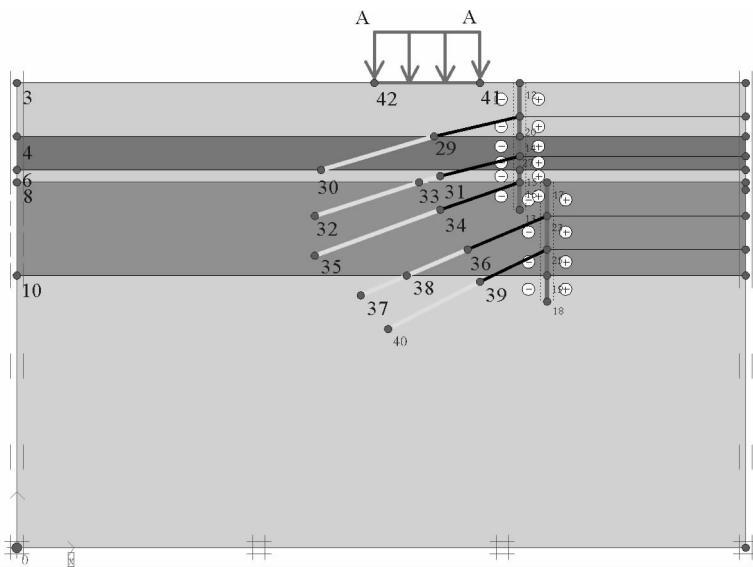


图 2 数值模拟计算模型图

Fig. 2 Numerical simulation model

图 4 为基坑开挖至坑底时的沉降云图,基坑最大沉降量出现在距离开挖面 3.0~6.0 m 的区域,在土岩接触界面处,基坑有较为明显的隆起现象。

从图 3 及图 4 可知,第四纪覆盖土层的水平位移量及竖直方向沉降变形量占据主要部分,在土层区域形成较为明显的滑动区域,在土岩接触界面,形成一条滑动带。因此在设计上部土层的排桩时,排桩的嵌固深度必须确保排桩进入下部岩层一定的深度,同时在下部设置一道锚索,避免踢脚桩的形成,从而确保土岩界面这一软弱滑动带出现失稳。

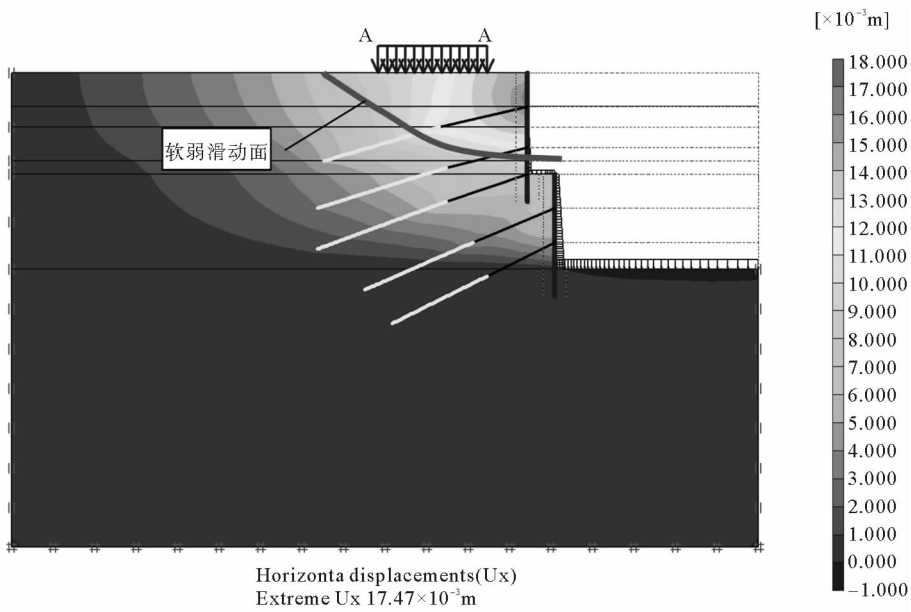


图 3 水平位移云图

Fig. 3 Horizontal displacement nephogram

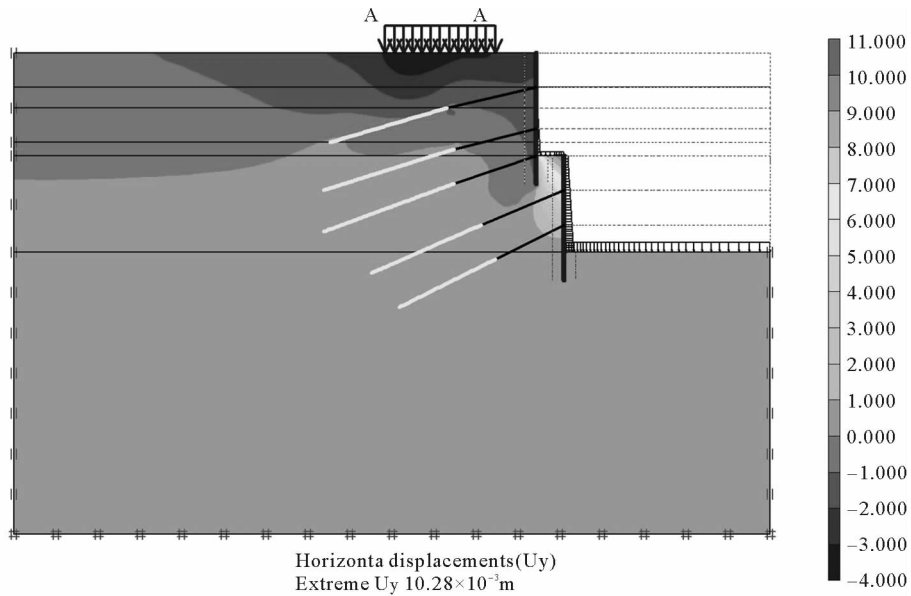


图 4 沉降变形云图

Fig. 4 Settlement deformation nephogram

图 5 为随开挖深度的变化,基坑水平位移变化曲线图。由该图可知,随着开挖深度的增加,水平位移逐渐增加。在开挖土层部分,水平位移量增加速率较大,当开挖至基岩部分时,水平位移量增速缓慢。水平位移量主要集中在土层部分。基岩部分的开挖面水平位移量基本上小于 5 mm。为对比该支护的组合效果,对无支护状态下的基坑开挖进行了数值模拟,结果发现当基坑开挖到深度为 3.0 m 时,由于基坑顶部土体水平位移过大而导致基坑上部出现塌陷,数值模拟无法进行下一步工况计算。

由以上模拟结果可知,土岩组合体深基坑支护,其变形主要集中于土层部分,上部土层采用桩锚支护,很好地控制了土层的水平位移,下部采用的微型钢管桩,对岩层的稳定性起到加强作用。

5 结论

通过对土岩组合体深基坑已有支护方式的分析,认为在土岩组合地质条件下,采用分段支护的方式既能充分发挥土层岩层自身的强度特点,又能节省工程造价。对垂直开挖的土岩组合体深基坑支护,采用桩锚联合微型桩的支护方式,实现分段支护的效果,充分发挥了各自的优点。土岩组合体地层深基坑变形主要发生在土层部分,因此支护重点应控制好土层部分的变形。采用桩锚支护对于控制基坑顶部土层的水平位移具有良好作用,下部的钢管微型桩对基坑的变形起到加固作用。桩锚联合微型钢管桩是土岩组合地层条件下垂直开挖的深基坑支护较为理想的支护方式。

参考文献:

[1]朱志华,刘涛,单红仙.土岩结合条件下深基坑支护方式研究[J].岩土力学,2011(S1):619-623.
Zhu Zhihua,Liu Tao,Shan Hongxian. Study of supporting type for deep foundation pit in areas of rock and soil[J]. Rock and Soil Mechanics,2011(S1):619-623.

[2]丁文龙.土岩组合地层排桩支护基坑变形控制研究[D].青岛:中国海洋大学,2012:1-19.

[3]周贺.土岩组合地区深基坑开挖地表沉降变形研究[D].青岛:中国海洋大学,2011:26-35.

[4]张宗强,张明义,贺晓明.微型钢管桩在青岛地区基坑支护中的应用研究[J].青岛理工大学学报,2012,33(3):22-25.
Zhang Zongqiang,Zhang Mingyi,He Xiaoming. Application and research of the micro-steel-pile in pit support in Qingdao [J]. Journal of Qingdao Technological University,2012,33(3):22-25.

[5]李白.微型钢管桩在岩石基坑支护工程中的应用研究[D].青岛:中国海洋大学,2012:6-22.

[6]刘小丽,李白.微型钢管桩用于岩石基坑支护的作用机制分析[J].岩土力学,2012(S1):217-222.
Liu Xiaoli,Li Bai. Analysis of supporting mechanism of micro-steel-pipe piles in rock foundation pit[J]. Rock and Soil Mechanics,2012(S1):217-222.

[7]朱祥山.青岛地区“嵌岩”类基坑工程设计方法研究[D].青岛:中国海洋大学,2008:3-17.

[8]刘涛,刘红军.青岛岩石地区基坑工程设计与施工探讨[J].岩土工程学报,2010(S1):499-503.
Liu Tao,Liu Hongjun. Design and construction of foundation pits in rock area in Qingdao[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2010(S1):499-503.

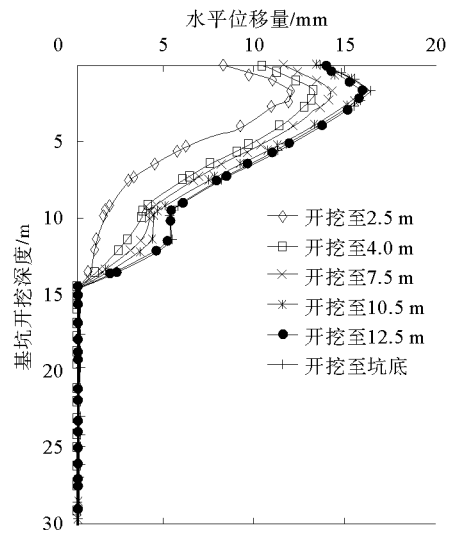


图5 水平位移随开挖深度变化曲线图
Fig. 5 Horizontal displacement changes as a function of excavation depth

(责任编辑:吕海亮)