

圆环桁架内支撑形式在软土基坑工程中的应用

王战鹏, 饶运东, 许开军

(深圳市岩土工程有限公司, 广东 深圳 400041)

摘要: 结合深基坑支护工程实践, 在软土基坑中采用圆环桁架内支撑, 采用二维模型对内支撑受力计算方式进行了探讨, 并与监测结果进行对比。监测结果表明, 圆环桁架内支撑形式能较好的控制了基坑变形, 降低了基坑开挖对周边环境的影响, 施工方便且造价较低。

关键词: 圆环桁架; 内支撑; 软土

中图分类号: TU447 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0613-03

作者简介: 王战鹏(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事基坑支护、边坡治理方面的设计与施工工作。E-mail: amusewzp@gmail.com。

Application of circular truss internal bracing in excavations engineering

WANG Zhan-peng, RAO Yun-dong, XU Kai-jun

(Shenzhen Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenzhen 400041, China)

Abstract: The circular truss internal bracing system is adopted for excavations in soft clay. A 2D numerical model is introduced to analyze the problem. The results of the numerical analysis are compared with the measurements. The measurements indicate that the circular truss internal bracing system can control the deformation well and reduce the influence on the surrounding environment. Its construction is easy, and the cost is low.

Key words: circle truss; internal bracing; soft clay

0 引言

在城市软土地区开挖深基坑,面临着确保基坑工程安全、控制基坑周边变形和方便工程施工的难题。本文作者在中山深厚软土地区一个深基坑工程实践中,设计采用了圆环桁架支撑结构。实践表明,该结构受力合理可靠,能较好的控制坡顶位移和沉降,同时内部敞开的空间大大方便了基坑开挖和施工作业,缩短了工期,具有明显的经济效益。

1 工程概况

1.1 工程简介

中山市银泉酒店位于中山市古镇镇,酒店主楼采用灌注桩基础。地下室平面形状不规则,占地面积约11000 m²,基坑开挖深度为8.45 m,局部10 m。

1.2 基坑周边环境

本基坑工程周边环境比较复杂:基坑东、南、北三侧紧贴道路,其中基坑东侧的新兴大道和基坑北侧的东兴中路为主干道,人车流量特别集中;基坑南侧道路边有灯饰销售商铺,基坑西侧为早年所建的住宅区,距离基坑边约8 m,采用混凝土灌注桩基础;基

坑北侧有高压电缆沟,基坑南侧和北侧坑顶有排水管道,为保护这些建筑与道路,基坑开挖对变形控制的要求较高。

1.3 工程地质状况

基坑开挖深度范围内,除上部为人工素填土厚约2 m,其余基坑开挖范围及坑底主要土层为淤泥质土(层序号为②₂),颜色为灰褐、灰黑色,呈流塑状,饱和,含腐植质,局部夹薄层粉砂及贝壳碎屑,土质不均匀,属高压缩性土。

各土层物理力学指标见表1。

2 基坑支护设计

2.1 基坑特点及设计方案

由于基坑所处场地土质条件较差,基坑开挖深度8.5~10 m,且基坑周边环境对沉降、位移控制要求较高,根据成熟的工程经验决定采用桩撑方案进行基坑支护,设置一排搅拌桩作为防渗帷幕。

综合考虑基坑形状因素和土方开挖的便利,采用了圆环桁架内支撑的形式。圆环桁架内支撑具有平面

表 1 土层物理指标

Table 1 Parameters of soil layer

土层号	土层名称	层厚/m	孔隙比	含水率/%	压缩模量/MPa	液限指数 I_L	重度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力/kPa	内摩擦角/($^\circ$)
①1	素填土	2	—	38	—	—	18	8	5
②2	淤泥质土	15	2.66	49	2.39	1.36	15.3	6.7	7.5
②3	粉质黏土	3	19.5	24.4	4.57	0.38	19.5	31.4	17

刚度大、整体性好的特点，能有效的控制抵抗通过内支撑传递过来的土压力，从而有效控制基坑周边的位移和沉降，同时圆环内部空间开阔，方便土方的开挖施工。

基坑支护平面及剖面设计如图 1，2 所示。

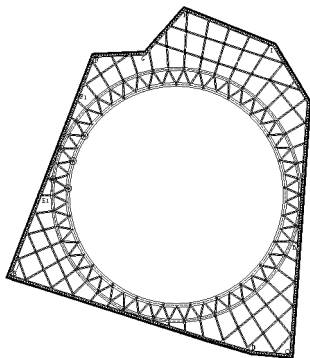


图 1 支撑体系平面图

Fig. 1 Plane view of strut system

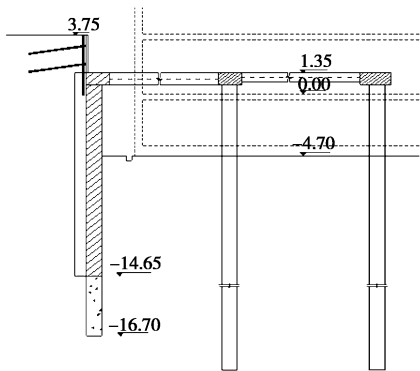


图 2 基坑支护剖面图

Fig. 2 Section of bracing system for excavation

2.2 基坑特点及设计方案

(1) 为减小支护桩长度，基坑上部 2.4 m 采用喷锚支护。

(2) 支护桩采用钻孔灌注桩，桩径 800 mm，桩身砼强度等级为 C25，桩间距 1000 mm，根据计算桩身弯矩包络图采用分段配筋。

(3) 基坑采用一道支撑进行支护，将基坑土压力通过辐射状支撑传递到双圆环桁架结构上。辐射状支撑截面为 500 mm×700 mm，为增大支撑系统刚度，外环梁截面尺寸为 1200 mm×800 mm，内环梁截面尺寸为 1500 mm×800 mm，内外环直径分别为 100，86 m，内外环之间通过 400 mm×600 mm 联系梁连接，形成桁架式结构整体受力，要求施工截面中心在同一

标高。支撑系统平面布置见图 3。

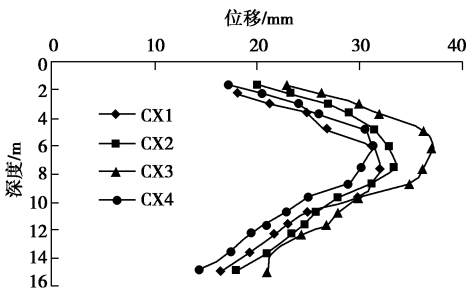


图 3 灌注桩实测位移

Fig. 3 Measured pile displacements

(4) 设置立柱以承受支撑自重、减少支撑长细比。

2.3 内支撑结构数值分析

直杆支撑、圆环支撑轴力和位移是本次计算的关键，并且要考虑在不对称开挖情况下，支撑系统的受力情况^[1]。

内支撑计算模型按平面受力分析，将冠梁、支撑简化为平面封闭框架，将剖面计算得到的支点反力转换为均布荷载作用于冠梁四周进行计算。

首先采用 m 值法，取典型地质剖面，进行基坑支护剖面计算。坡顶荷载按 20 kPa 考虑，土层参数如表 1，计算参数中支锚刚度对支点力计算结果影响较大，而支点力计算结果直接关系到内支撑体系的受力分析。

支撑刚度的计算公式为： $k_t = \frac{2\alpha EA}{l} \cdot \frac{s_a}{s}$ ，该公式

只适用于基坑周边支护结构荷载相同、支撑体系采用对撑并沿具有较大刚度的腰梁或冠梁等间距布置时^[2]，且该计算方式只考虑支撑与腰梁垂直的情况，内支撑的支锚刚度是与内支撑的布置形式直接相关的，为了得到合适的支锚刚度，采用如下方法进行计算：

在冠梁、内支撑组成的平面结构体系上施加单位荷载 F ，假定冠梁、内支撑都处于弹性受力阶段，通过杆系有限元的方法得到各支点在单位荷载下的位移 S ，则支撑刚度 $K=F/S$ ，用该方法计算的支撑刚度能够考虑不同支撑形式对支撑刚度的影响。

将以上支撑刚度经过转换代入理正深基坑计算即可。

不对称力计算是考虑基坑开挖深度不一样的时候，内支撑的受力情况。具体方法是计算两个不同深度的支点力，然后转化为不同的均布荷载作用于冠梁上。

表 2 内支撑体系支撑刚度计算参数

Table 2 FEM parameters of brace rigidity coefficient

项目	内环梁	外环梁	冠梁	支撑梁 1	支撑梁 2
截面($h\times b$)	1.5×0.8	1.2×0.8	1.2×0.8	0.7×0.5	0.6×0.4
弹性模量/MPa	2.8×10 ⁴	2.8×10 ⁴	2.8×10 ⁴	2.8×10 ⁴	2.8×10 ⁴
泊松比	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	变形模量/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	
土层	4.0	0.35	11	6.7	

表 3 各计算剖面的支撑刚度系数

Table 3 Brace rigidity coefficients

剖面	最小支撑刚度/(MN·m ⁻²)
1-1 剖面	21.05
2-2 剖面	21.05
3-3 剖面	26.67
4-4 剖面	22.08
5-5 剖面	29.95

3 监测数据与计算结果对比

基坑开挖顺序为先开挖四周土体, 然后向中间退挖。开挖土层分为 3 层土, 第一层土开挖到支撑梁底标高, 然后施工支撑系统, 第二层土开挖 3 m 深度, 第三层土开挖约 3.5 m, 直到设计坑底标高, 开挖过程做到尽可能的对称开挖。

基坑开挖过程中, 对基坑周边的位移和沉降和支撑轴力进行了监测, 监测情况如下所述。

3.1 内支撑轴力监测

依据计算结果, 在轴力较大的位置布置监测点, 对内、外环梁、辐射撑做了轴力监测, 轴力监测结果与计算结果如表 2~4 所示。

表 4 外环梁支撑轴力

Table 4 Axial forces of outer circle truss

监测点编号	计算值/kN	实测值/kN
WHL8	10209	6700
WHL11	6522	4800

表 5 外环梁支撑轴力

Table 5 Axial forces of inner circle truss

监测点编号	计算值/kN	实测值/kN
WHL7	10209	6700
WHL12	10906	8031
NHL14	9536	8300

表 6 辐向支撑轴力

Table 6 Axial forces of radial truss

监测点编号	计算值/kN	实测值/kN
ZC3	3024	2900
ZC10	3574	2217
ZC13	2191	1673

由平面计算得到的支撑轴力比监测值要偏大, 考虑

可能有以下几个原因导致监测结果和计算轴力的差别, 一是所有支撑都不是完全的轴心受力构件, 支撑自重产生的弯矩、施工误差参数的弯矩还有温度因素都对监测结果有影响, 二是计算模型是将支撑轴力转换为均布荷载作用于腰梁上, 与桩撑实际受力模式不一样。

3.2 灌注桩位移监测

在基坑四周共布置 8 个桩身测斜监测点, 以监测基坑开挖过程中支护桩的位移情况。图 4 为具有代表性的基坑开挖到底部时候的桩身测斜曲线, 从监测情况来看, 支护桩最大位移发生在接近基坑底部位置, 其中 CX3 测点所在的基坑西侧由于开挖深度为最大, 桩身位移最大达到 35 mm, 其余测点桩身位移一般在 30 mm。

3.3 基坑周边位移沉降监测

基坑开挖过程中, 对基坑周边的位移和沉降进行了监测, 除局部搅拌桩漏水位置沉降达到 3.7 cm, 其余位置沉降均介于 1.3~2.6 cm, 基坑顶部位移介于 1.7~2.1 cm, 支撑爆破拆换撑过程中, 沉降位移最大增加 0.5 cm, 整个基坑施工过程中基坑四周位移沉降均在可控范围以内, 没有对周边道路、管线、房屋造成明显不利影响。

4 结 论

(1)圆环桁架内支撑形式比较适用于基坑形状不规则但基坑形状接近于方形的基坑, 与对撑相比较具有对挖土施工影响小的有点, 可以缩短工期。

(2)圆环桁架内支撑具有支撑刚度大、结构可靠度高等优点, 配合支护桩, 能有效的控制基坑周边的位移沉降。

(3)通过在平面桁架外部施加均布荷载的方式计算支撑体系的轴力所得结果比监测结果大, 将计算结果用于支撑构件设计时可考虑适当优化截面尺寸及配筋。

(4)运用有限元计算, 可以基本解决规范方法对计算复杂内支撑结构方法的不足。

参考文献:

[1] JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (JGJ120—99 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))

[2] 尹 骥, 管 飞, 李象范. 直径 210 m 超大圆环支撑基坑设计分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊 1): 1597. (Design and analysis of a 210 m-diameter circular strutted foundation pit[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S1): 1597. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)