

软土地区坑中坑对基坑围护体水平位移影响分析

李磊

(上海地矿工程勘察有限公司,上海 200072)

【摘要】 通过对软土地区某基坑工程实践进行有限元数值模拟,分析了排桩、重力坝两种基坑围护形式下大型坑中坑里面内、外坑之间距离对两坑围护体水平变形的影响。计算数据表明,内外坑距离越大,外坑围护体水平位移越小,当距离大于2~3倍内坑深度后,围护体水平变形可以不用考虑坑中坑的影响。内外坑距离越大,内坑围护体水平位移越小;内坑围护体水平变形受外坑围护体刚度影响,外坑围护体刚度越大,内坑围护体变形越小。

【关键词】 基坑工程;软土地区;坑中坑;数值分析

【中图分类号】 TU 433

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2019.03.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Lateral Displacement of Supporting for Pit in Foundation Pit in Soft Soil Area

Li Lei

(Shanghai Geological and Mineral Engineering Investigation Co., Ltd., Shanghai 200072, China)

【Abstract】 Based on the numerical analysis for effect of lateral displacement of supporting for pit in foundation in soft soil area, the influence of the distance is analysis between the inner and outer pits of a large pit on the horizontal deformation of the supporting structure under the two types of pits and gravity dams. The calculated results showed that the distance is the larger between the inner and outer pits, the horizontal displacement is the smaller of the outer pit, when the distance is greater than 2~3 times the pit depth, the horizontal deformation of the supporting structure can't consider the influence of pit. The distance is the larger between the inner and the outer pits, the horizontal displacement is the smaller of the inner pit; Horizontal deformation of inner pit is affected by the stiffness of outer pit. The lateral displacement of inner supporting structure reduces with the increasing stiffness of outer supporting structure.

【Key words】 foundation pit engineering, soft soil area, pit-in-pit, numerical analysis

0 引言

随着城市现代化建设的不断发展,人们开始向高空和地下寻求发展空间,基坑工程的数量迅速增多,开挖环境也日趋复杂^[1-6]。在建筑基坑工程中,除了由于存在基坑结构、电梯井、集水井等个别小型坑中坑外,根据建筑特点需要而导致的同一地下室分为地下一层和地下二层两个区域,基坑内存在大型坑中坑的现象也不断涌现。

以往分析的坑中坑多以深基坑内存在小型坑的例子,偏重于研究基坑内存在电梯井、集水井等小而浅内坑的情况,关注点仅为外坑的围护体变形且外

坑围护体多为排桩,对内坑不做或做简单围护。在实际工作中,地下一层内设置大面积地下二层的情况越来越多,外坑围护形式多样化,内坑亦需谨慎采用排桩结合水平支撑围护。本文结合上海地区实际工程案例,针对周边为地下一层,中央为地下二层的情况进行讨论,并对不同围护形式进行了数值模拟研究分析。

1 计算方法及计算模型

1.1 计算方法

在基坑工程研究中,常采用原位试验、模型试验及数值模拟分析等三种方法。原位试验和模型试验

成本较高、试验周期长、外界干扰因素较多且易受边界效应影响。在基坑围护及开挖过程中,土的应力路径较为复杂,尚没有好的计算方法对其进行精准分析,现多利用数值模拟的方法进行相关研究分析。本次采用 PLAXIS 软件进行数值模拟分析,其优点为能够考虑到围护结构与土体,土体之间的应力、应变,缺点为采用了理想弹塑性模型有一定局限性。

采用弹塑性单元模拟桩土间接触,采用库伦准则来模拟接触面内微小结构与土体间产生相对位移时的土体性状。

当接触面处于弹性状态时,剪切力

$$|\tau| \leq \sigma_n \tan \varphi_i + c_i \quad (1)$$

当接触面处于塑性状态时,剪切力

$$|\tau| = \sigma_n \tan \varphi_i + c_i \quad (2)$$

式中: c_i 和 φ_i 分别为接触面的黏聚力和摩擦力,它们与接触面的粗糙程度及土层的强度有关,一般用界面强度折减因子 R_{inter} 进行折减, $R_{inter} = 1$ 时认为接触面是刚性的。 R_{inter} 一般取 $1/2 \sim 1/3$, R_{inter} 的推荐值见表 1^[1]。

表 1 R_{inter} 的推荐值

砂/钢相互作用	$R_{inter} = 0.6 \sim 0.7$
黏土/钢相互作用	$R_{inter} \approx 0.5$
砂/混凝土相互作用	$R_{inter} = 0.8 \sim 1.0$
黏土/混凝土相互作用	$R_{inter} = 0.7 \sim 1.0$
土/格栅相互作用	$R_{inter} = 1.0$
土/土工织物相互作用	$R_{inter} = 0.5 \sim 0.9$

本文采用小应变硬化土模型(HSS),该模型在模拟剪切硬化、压缩硬化、加卸载、小应变等方面具有较大优势。

1.2 计算模型

为了说明大型坑中坑对围护结构水平变形的影响,以上海地区某基坑工程为例,通过 plaxis 有限元软件进行计算分析。该工程位于上海市奉贤区,地处长江三角洲入海口,地貌类型属滨海平原地貌,在自然地面以下 60.0 m 深度范围内各土层均为第四系沉积物,由黏性土、粉性土等组成。地势平坦,存在暗浜,地下水位较浅,潜水变化峰值为 0.5 ~ 1.5 m,水位埋深按高值 0.5 m 取值。基坑总面积约 8394 m²,总延长约为 598 m,分为地下一层和地下二层两个区域(见图 1),其中地下二层面积约为 4640 m²,延长 458 m。地下一层普遍区域开挖深度 5.2 m,地下二层普遍区域开挖深度 9.05 m,两坑高差 3.85 m。地下一层区域,根据周边环境分别采用两级放坡、双轴水泥土搅拌桩重力坝及钻孔灌注桩结合钢管斜抛撑等围护形式进行围护;地下二层区域采用钻孔灌注桩结合一道混凝土支撑进行围护。土性参数见表 2。

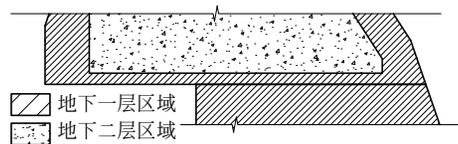


图 1 基坑围护平面图

表 2 土性参数

土层层号	土层名称	厚度/m	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)	重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^3$)	压缩模量/MPa
①	填土	0.8	10	10	18.0	4.012
②	粉质黏土	2.7	23	19.5	18.9	5.88
③	淤泥质粉质黏土	6.5	12	18.1	17.5	3.15
④	淤泥质黏土	8.3	11	12.4	16.9	2.31
⑤	黏土	6.7	12	12.0	17.3	2.89

根据相关资料和经验^[2],开挖的水平影响范围约为 $3 \sim 5h$ (h 为开挖深度)。为消除边界条件对计算结果的影响,本次模型宽度定为 80 m,高度定为 35 m,其中地下二层围护体距边界 20 m,以便模拟土体空间半无限体的特性。在模型左右两边界施加水平向位移约束,底部施加 x 和 y 方向的位移约束。外坑围护体外 10 m 范围施加 20 kPa 荷载以模拟周边施工荷载,HSS 模型土性参数见表 3。

本次考虑其中两种围护形式:

围护形式一:地下一层(外坑)采用重力坝+地下二层(内坑)采用灌注桩结合水平支撑(见图 2、图 4)

其中,重力坝采用 $\phi 700 @ 500$ 双轴水泥土搅拌桩,水泥掺量 13%,桩长 12 m,坝宽 4.7 m;灌注桩采用 $\phi 700 @ 900$ 钻孔灌注桩,桩长 11 m,止水帷幕采用双排 $\phi 700 @ 500$ 双轴水泥土搅拌桩,桩长 11 m。

围护形式二:地下一层(外坑)采用灌注桩结合钢管斜抛撑+地下二层(内坑)采用灌注桩结合水平支撑(见图 3、图 5)。

表3 HSS模型土性参数选取表

参数	选取方法
c	勘察报告建议值
φ	勘察报告建议值
ψ	$\psi = \begin{cases} \varphi - 30 (\psi > 0) \\ 0 (\psi < 0) \end{cases}$
$E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$	$E_{\text{ocd}}^{\text{ref}} \approx E_s^{1-2}$
E_{50}^{ref}	$E_{50}^{\text{ref}} \approx (1 \sim 2) E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$ (黏性土) $E_{50}^{\text{ref}} \approx E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$ (砂性土)
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}} \approx (4 \sim 6) E_{50}^{\text{ref}}$ (黏性土) $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} \approx (3 \sim 5) E_{50}^{\text{ref}}$ (砂性土)
ν_{ur}	0.10~0.25
m	砂土取0.5;黏性土取0.7~0.9
$R_{0.7}$	$(1 \sim 2) E - 0.4$
G_0^{ref}	$G_0^{\text{ref}} = (1 \sim 2) E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$

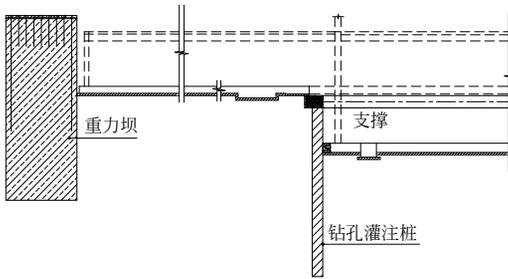


图2 围护形式一剖面图

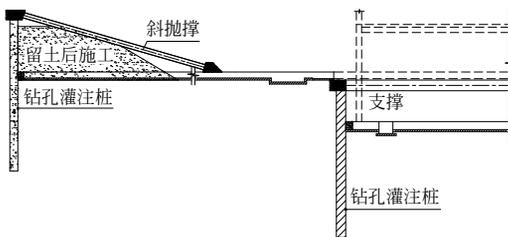


图3 围护形式二剖面图

其中,外坑灌注桩采用 $\phi 650@850$ 钻孔灌注桩,桩长12 m;内坑同围护形式一(见图4)。

开挖工况为:

- a. 施工内、外坑围护体;
- b. 开挖地下一层土(围护形式二需周边留土先施工斜抛撑);
- c. 施工地下二层支撑;
- d. 开挖地下二层土。

2 计算结果

为了说明内坑距离外坑围护体距离对于基坑变形的影响,分别计算了内外坑间距3~15 m情况下内外围护体的变形量,由于实际工程中主要考虑围护体水平变形,故本次仅对围护体水平变形量进行分析。虽然平面应变计算无法反映实际空间问题,

但由于其计算结果较为保守,在规律上对实际设计有较高的参考价值。

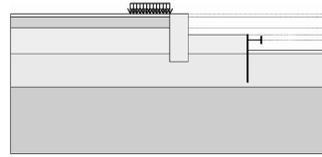


图4 围护形式一剖面图

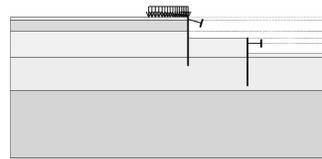


图5 围护形式二剖面图

2.1 内坑位置对外坑围护桩水平位移的影响

围护形式一和围护形式二下不同内坑位置(3~15 m)对外坑围护体最大水平位移的影响见图6、图7。围护形式一中随着内坑距离的不断增加,外坑重力坝最大水平位移由36.9 mm减小至26.1 mm;围护形式二中随着内坑距离的不断增加,外坑排桩最大水平位移由23.0 mm减少至15.5 mm。根据《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497—2009)规定,二级基坑围护体水平位移水泥土墙需小于0.6%~0.8%h、排桩需小于0.6%~0.7%h(h为基坑开挖深度),采用最不利开挖深度5.20 m进行取值,外坑围护体水平位移报警值为36.4 mm。本次模拟最大水平位移量为36.9 mm,基本满足规范要求。

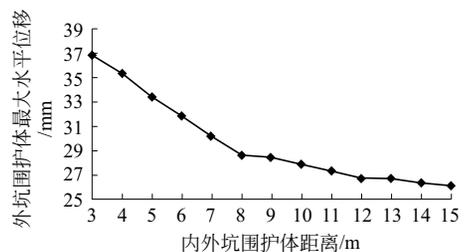


图6 围护形式一外坑围护体最大水平位移

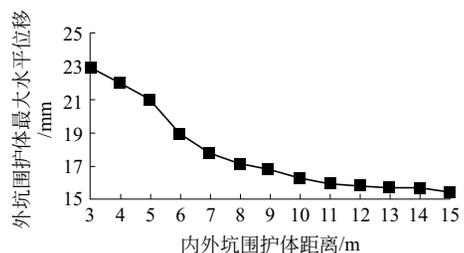


图7 围护形式二外坑围护体最大水平位移

由图6、图7可知,随着内坑距离外坑围护体越远,

外坑围护体最大水平位移值越小,位移量呈收敛状态,基坑趋于安全。根据以往理论,其认为坑中坑对围护体的影响主要取决于内坑与基坑边的距离、土性参数、坑中坑的围护形式,其提出的影响范围公式为

$$B_0 = 2.5h_0 \times \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (3)$$

式中: B_0 —坑中坑对土体的影响范围;

H —坑中坑围护结构深度,一般取值 $2.5h_0$;

h_0 —坑中坑的深度;

φ —土体内摩擦角。

根据以往理论计算本次影响范围为 7 m,本次模拟结果显示内外坑围护体距离大于 8 m 后,内坑对外坑水平位移影响减小,与该理论接近。

2.2 内坑位置对内坑围护桩水平位移的影响

围护形式一和围护形式二下不同内坑位置(3~15 m)对内坑围护体最大水平位移的影响见图 8、图 9。围护形式一中随着内坑距离的不断增加,内坑最大水平位移由 36.0 mm 减小至 21.8 mm;围护形式二中随着内坑距离的不断增加,内坑排桩最大水平位移由 26.3 mm 减少至 17.2 mm。

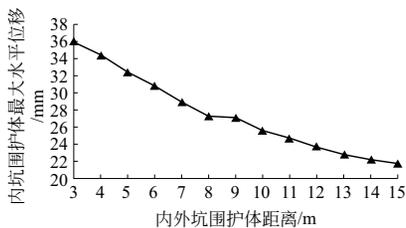


图 8 围护形式一内坑围护体最大水平位移

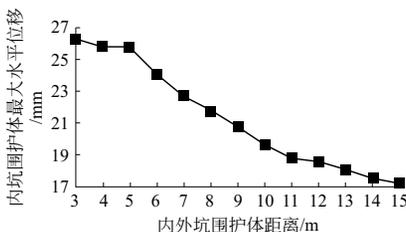


图 9 围护形式二内坑围护体最大水平位移

由图 8、图 9 可知,随着内坑距离外坑围护体越远,内坑围护体最大水平位移值越小,位移量呈收敛状态,基坑趋于安全。外坑围护体形式对内坑围护体水平变形影响较大,外坑采用排桩围护时内坑变形量明显小于外坑采用重力坝围护的情况。

3 实测数据

针对本案例,分别提取围护形式一及围护形式二所对应剖面外坑围护体最大水平位移实际监测数据随时间变化见图 10。其中内外坑围护体距离均为 30 m 左右。

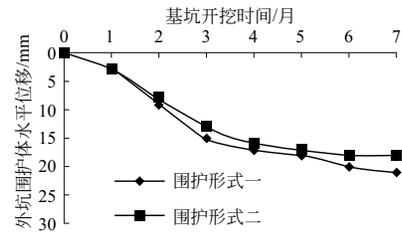


图 10 实测内坑围护体最大水平位移

对比实测数据发现,外坑采用排桩围护时内坑围护体变形量要小于外坑采用重力坝的情况。但由于本次实际工程中内外坑围护体距离达 30 m,外坑选型对内坑围护体水平位移的影响已不大。

4 结论和建议

(1)坑中坑距离外坑围护体的远近影响外坑围护体水平变形量。无论外坑采用何种围护形式,内外坑距离越小,外坑围护体变形越大;距离越大,外坑变形越小。

(2)坑中坑对外坑的影响距离约为 2 倍内坑开挖深度,当距离大于该值外坑围护体水平变形量受内坑影响较小。在实际工程中若内坑距离外坑大于 2 倍开挖深度,外坑围护体设计可减少考虑内坑的影响。

(3)外坑对内坑围护体水平变形有较大影响。两者距离越大影响越小,反之影响越大。

(4)外坑采用不同围护体对内坑水平变形有一定影响。外坑围护体刚度越大,同样距离内坑围护体变形越小,基坑越安全。建议在基坑围护设计中若遇到此类大型坑中坑时外坑围护体可采用排桩结合支撑的围护形式以减小内坑围护体变形。若外坑因为各种条件影响无法采用排桩,建议采用重力坝内插灌注桩或 SMW 工法桩等方式以提高外坑围护体强度。

参 考 文 献

- [1] 陈乐意,李镜培,梁发云,等.坑中坑对基坑围护结构水平位移影响数值分析[J].岩土工程学报,2008,30(S1):59-61.
- [2] 钱天平.坑中坑对基坑性状影响分析[D].杭州:浙江大学,2012.
- [3] 潘卫成.坑中坑的支护及对大基坑支护的影响[C].//第九届全国地基处理学术讨论会论文集,2006.
- [4] 张戈,毛海和,等.软土地区深基坑围护结构综合刚度研究[J].岩土力学,2016,37(5):1467-1474.
- [5] 刘谷寨,周元,尤波.软土地区大面积不规则深基坑支护设计实践与分析[J].岩土工程技术,2018,32(4):212-216.
- [6] 耿晔宽,高芬芬,周成君.深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J].岩土工程技术,2018,32(6):313-316.