

杭州某商业楼基坑变形分析

朱瑞钧, 王杰光, 齐干

(桂林工学院 土木系, 广西桂林 541004)

摘要:通过运用有关基坑变形的计算方法对杭州某商业楼基坑工程进行基坑变形的计算, m法计算得基坑最大位移为 29.2 mm, 基床系数法求得基坑最大位移为 7.2 mm, 实际基坑最大位移为 174.6 mm, 基床系数法求得基坑变形特点与实际情况不同。影响基坑变形的因素很多, 本研究结合工程实际确定土的比例系数和桩的变形系数, 并充分考虑影响基坑变形的因素, 之后确定土体参数、支撑条件、支护桩入土情况、施工进度的影响因子, 对已有的计算方法进行分析 and 修正。最后得出合乎本工程的基坑变形计算方法, 能在实际工程中对深基坑变形进行及时准确地预测和分析。

关键词:基坑; 基坑变形; 位移; 支护体系

中图分类号: TU473.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7329(2004)02-0054-05

Analysis on Foundation Pit Deformation of a Commercial Building in Hangzhou

ZHU Rui-jun, WANG Jie-guang, QI Gang

(College of Civil Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, P.R.China)

Abstract: The foundation pit deformation of a commercial building in Hangzhou is calculated by using calculation method related to foundation pit deformation. The calculation results by m method show that the maximum deformation is 29.2mm and the real maximum deformation is 174.6mm. The deformation character obtained by foundation coefficient method is different from the real deformation. There are lots of factors influencing foundation deformation. According to practical engineering condition, in this study, the influencing factors for soil parameters, bracing condition, condition for insertion of retaining wall into soil and construction speed are determined. The calculation method used is analyzed and modified. Finally, a useful and valid method for calculating foundation deformation is presented, by which the foundation pit deformation in practical project can be forecasted and analyzed.

Keywords: foundation pit; foundation deformation; displacement; retaining system

由于市区建筑物密集, 基坑开挖直接影响到周边建筑的安全, 于是深基坑工程问题日益突出。大面积开挖时坑底土的性状必然发生变化, 它直接影响到基坑的稳定及变形^[1], 基坑体系位移与变形不仅关系到本身安全问题也影响到周边建筑的安全^[2]。这要求基坑支护不仅要满足强度控制要求, 而且还要满足基坑内外环境变形要求^[3]。因此深基坑变形控制和分析尤为重要。下面以杭州某商业楼基坑工程为例进行分析。

1 工程概况

该商业楼位于杭州市城北部, 建筑面积为 20 000 m², 楼高 30 m, 基础形式为静压预制桩, 上部建筑

* 收稿日期: 2003-11-28

作者简介: 朱瑞钧(1975-), 男, 广西灵川人, 硕士生, 主要从事岩土工程研究。

采用框架剪力墙结构,共有 2 层地下室,该工程基坑开挖深度为 7.0 m,基坑的围护形式采用钻孔灌注桩加内支撑,内支撑形式有角撑,对撑等形式,整个基坑围护体系呈 U 字形,基坑开挖分 2 层进行,基坑开挖至地面以下 1.0 m 做第一道支撑,待其达到稳定状态后进行第二阶段开挖,第二阶段一直开挖到地面以下 7.0 m 处,在地面以下 5.5 m 做第二道支撑。为保证周围建筑物和地下管线及道路不损坏,该工程对基坑开挖进行了水平位移监测。此基坑工程土体参数见表 1。

表 1 土的物理力学指标

层序	地层名称	土层厚度 (m)	土的重度 γ (kN·m ³)	内摩擦角 φ (°)	粘聚力 c (kPa)
1	杂填土	3.5	18	10	0
2	粉质粘土	2.2	18.9	9	23
3	淤泥质粉质粘土	10.5	17.9	10.4	11
4	粉质粘土	2.8	19.3	11.2	12
5	粉质粘土	5.7	19.5	12.7	11.3
6	粘土	7.5	19.2	12.5	20.4

2 基坑变形的原理和计算方法

常用的基坑变形计算方法有基床系数法,弹性地基杆系有限元法,有限元法等。

2.1 基床系数法

基床系数法是假定桩作为弹性地基上的梁,按文克尔假定——梁身任一点的土抗力与此点位移成正比^[4]。其解法是用数学方法解桩在受荷后的弹性挠曲微分方程,求出桩各部分的内力和位移。解析方法为:桩在水平荷载作用下水平位移(x)愈大时,侧压力(δ)也愈大,侧压力大小还取决于:土的性质、桩身刚度大小、桩的截面形状、桩的入土深度等。具体公式为

$$\delta = Cx \tag{1}$$

式中: C ——土的水平向基床系数; x ——桩的水平位移; δ ——桩所受侧向土压力。

2.2 m 法

对于设有多道支撑的支护桩,m 法用结构力学的力法或位移法来求解支撑内力,支护桩在基坑底面以上的悬臂部分也可用结构力学方法计算其内力,基坑底面以下的入土部分可在求得支撑力后分析其内力。

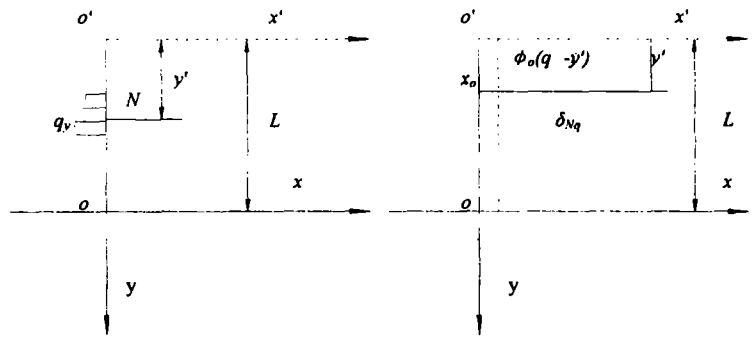


图 1 任意荷载作用下支护桩变形计算

任意侧向荷载作用下,N 点的水平位移 δ_{Nq} 可以用迭加原理求解,如图 1。

1) 支护桩作为弹性地基杆件在基

坑底面 O 点受力 H_0 (q_y 的合力) 及弯矩 M_0 (q_y 对点 O 的弯矩) 后,O 点的水平位移为

$$x_0 = H_0 \delta_{HH} + M_0 \delta_{HM} \tag{2}$$

2) 支护桩作为弹性地基杆件在基坑底面 O 点受力 H_0 及弯矩 M_0 后产生转角 φ_0 ,因转角 φ_0 而在 N 点产生的水平位移为

$$\varphi_0(l - y') = (H_0 \delta_{MH} + M_0 \delta_{MM})(l - y') \tag{3}$$

3) 支护桩悬臂部分作为悬臂梁,在任意荷载 q_y 作用下在 N 点产生的水平位移为 δ'_{Nq} 。这样 N 点在任意荷载 q_y 作用下其总的水平位移为

$$\delta_{Nq} = x_0 + \varphi_0(l - y') + \delta'_{Nq} \tag{4}$$

2.3 有限元法

有限元法根据选定位移模式,推导出单元内任一点位移的关系式,有限元法的位移公式用矩阵式来表示,位移公式为

$$\{f\} = [N]\{\delta\}^e \quad (5)$$

式中： $\{f\}$ ——单元内任一点位移列阵； $[N]$ ——形函数矩阵； $\{\delta\}^e$ ——单元结点位移列阵。

3 影响基坑变形的因素

由于土的离散性及施工过程中受到各方面不确定因素的影响，给基坑变形计算带来很多问题^[5]。基坑支撑开挖的确定性分析本身就相当复杂，不是一两个公式所能解决的，而且各种因素的影响程度很难确切表达，利用传统的计算方法较难建立满意的数学模型^[6]。但影响基坑变形的关键因素主要表现在如下几个方面。

3.1 土体参数

C 、 φ 值及液性指数 I_L ， C 值越大说明土的内聚力和粘聚力越大，土粒表面越粗糙粒间排列越密实内摩擦角 φ 则越大，相应的土粒间摩擦角越大。根据土的主动土压力计算公式可知 C 、 φ 值越大主动土压力越小。主动土压力越小说明作用在支护桩上的作用力越小，

$$p = \gamma htan^2(45 - \frac{\varphi}{2}) - 2Ctan(45 - \frac{\varphi}{2}) \quad (6)$$

式中： γ ——土的重度； h ——土的厚度。

基坑不易发生位移和变形。液性指数 I_L 说明土为何种类型，是为软弱质还是坚硬质土体，若为硬质粘土 I_L 较小，土的抗剪切破坏力强，土体不易发生滑移，所以在硬质粘土中进行基坑开挖时支护体系的位移容易控制变形也较小，若为淤泥质土和软弱粘土 I_L 较大，土体的抗剪切破坏力弱，整体稳定性难保证，容易引起大的滑移和变形。

3.2 支护桩入土深度及嵌入土体情况

支护桩嵌入深度越大支护体系的整体稳定性越好，不会引起支护桩和土体的整体滑移。桩体嵌入土层越坚硬，支护体系的稳定性越强，当支护桩嵌入坚硬土层和岩层时，支护体系根部较牢固，不会出现基坑底部隆起现象，墙后土体滑移性将大大降低，支护体系的位移明显减少。若支护桩位于松散和软弱土层，支护体系的稳定性差，因为在这种土层桩体根部将出现前倾和滑移现象，墙后土体容易发生剪切破坏，支护体系位移和变形增大。若条件允许支护桩应尽量坐落于硬质土层和坚硬岩层中，以保证支护体系的整体稳定性，减少基坑的位移和变形。

3.3 支撑布置情况

支撑布置情况如何直接影响支护体系的变形，一般来说支撑水平布置越密，支撑层间间距越小，支护体系的稳定性越强，位移和变形越小。在支撑设计要求范围内支撑布置越密集，作用在墙后土体的作用力越大，支护桩产生的弯矩和挠曲变形减小。参照 m 法基坑位移和变形的计算公式可知，支撑层间间距的大小是影响基坑位移和变形的重要因素，同时支撑水平间距也影响到支护力的大小，若支撑层间间距过大墙后土体作用在支护桩的抗力较大，支护桩上将产生大的弯矩，支护桩的挠曲变形增加，墙后土体的裂隙变大，容易产生滑移，直接影响基坑位移和变形。

3.4 施工条件

施工条件也是影响基坑位移和变形的重要因素，基坑开挖都是分级分阶段进行的。每一层的开挖应在上一级支撑工作结束后进行，而且要求其达到稳定状态。若开挖速度过快或者每级开挖深度过大支撑进度没跟上，墙后土体将出现临空状态，土体受到极大的扰动平衡状态遭到破坏，这样墙后土体将发生剪切破坏，土体快速向基坑一侧滑移。有时会因为开挖过快造成支撑底部滑动，造成支护作用失效。若出现这些情况基坑位移将会明显增加，甚至会造成基坑整体失稳。

4 实际工程变形计算

运用 m 法及基床系数法对杭州某商业楼基坑工程进行基坑变形理论计算，便于下面分析比较。

4.1 计算系数的确定

杭州某商业楼基坑工程的支护桩采用 $\varnothing 800$ mm 的钻孔灌注桩,为混凝土材料,弹性模量 E 取值为 $E = 2.0 \times 10^4$ kPa,桩身抗挠曲刚度为 EI , $EI = 2.0 \times 10^4 (\pi d^4/64) = 2.0 \times 10^4 [3.14 \times (0.8)^4/64] = 4.0 \times 10^5$ kN·m²。支护桩嵌入层土体 18 m,在基底以下有淤泥质粉质粘土,粉质粘土,粘土,土的比例系数 m 的取值应为各层土的加权平均值。查相关的资料 m 取值分别为,淤泥质粉质粘土 $m = 1\ 000$,粉质粘土及粘土 $m = 4\ 000$,故土的比例系数 m 取值为 2 466.7。

$$\text{桩的水平变形系数为} \quad a = \sqrt[5]{\frac{mb}{EI}} \approx 0.35 \quad (7)$$

式中: EI ——桩身抗挠曲刚度; b ——桩的直径。

4.2 计算结果分析

运用上述几种计算方法对实际工程进行基坑变形计算,发现理论计算值与实际位移值有较大的偏差,该工程第 1 层土开挖后基坑最大位移为 41.2 mm,第 2 层为 174.6 mm,基坑底为 163.2 mm。运用 m 法计算得该基坑工程各支撑处位移与实际位移比较如表 2 所示,运用基床系数法求得该基坑工程各支撑处位移与实际位移比较如表 2 所示。造成偏差较大的主要原因是施工过程中不确定因素较多,给变形计算带来很多麻烦,各种计算方法顾及的影响要素不全面,其中的计算系数和影响因子的确立并不是很合理准确,加之每种计算方法并不完善,如基床系数法没有考虑到分步开挖,没有考虑到各层土开挖后对上一层支撑变形影响,支护桩嵌入土层性质没有包括其中, m 法没考虑每层土开挖后预留时间对基坑变形的影响,计算过程中各计算因子的确定并不是十分合理,目前尚未有一种建立在满意的数学模型上的基坑变形的计算方法,正是由于上述原因造成计算结果不准确。

表 2 m 法和基床系数法计算位移值与实际位移值比较

工程名称	观测部位	实际观测值(mm)	计算值(mm)	
			m 法	基床系数法
杭州某商业楼基坑工程	第 1 层	41.2	6.3	168
	第 2 层	174.6	29.2	70.06
	基坑底部	163.2	26.4	51.12

5 计算方法的选取及修正

从表 2 可看出,每种计算方法求得基坑位移值与实际位移值都有较大偏差, m 法计算得各层支撑位移明显偏小,基床系数法计算得第 1 层位移过大,之后位移持续变小,与实际变形特征不符。虽然两种计算方法求得结果与实际最大位移有很大出入,但 m 法考虑的因素相对较为全面,考虑到土体参数支撑布置条件、施工进度、支护桩入土深度和嵌入土层性状,计算的依据和步骤也相对较为合理,它先根据土体参数计算墙后土的主动土压力,然后视实际工程情况确立各计算系数和影响因子,最后得出各支撑处的位移。因此可以此作为参照式在充分考虑各影响因素的情况下对其进行处理和修正。

5.1 修正系数的确定

土体参数的影响系数修正,设定其修正系数为 a

$$a = \sin(45 - \frac{\varphi}{2}) + \frac{e}{\sqrt{c}} \quad (8)$$

式中: e ——取值为 2.72; φ ——土体内摩擦角; c ——土体的内聚力。

假定支护布置条件的修正系数为 $e^{(b-1)}$,嵌入深度的修正系数为 $e^{(c-1)}$,嵌入层土体的修正系数为 $e^{(d-1)}$,施工进度的修正系数为 $e^{(h-1)}$, b 、 c 、 d 、 h 的取值见表 3。

$$\text{设总的影响因子为 } K \quad K = a + e^{b-1} + e^{c-1} + e^{h-1} \quad (9)$$

则修正后的基坑变形计算公式为

$$S_f = S \times K \quad (10)$$

式中: S —— m 法基坑变形计算公式; K ——影响基坑变形的修正系数。

表3 各种情况下修正系数中 b 、 c 、 d 、 h 的取值

嵌入层土体的系数修正		施工进度的系数修正			支护布置条件的修正系数		嵌入深度的修正系数	
土体类型	d	开挖超过预定深度(m)	开挖后预留时间(d)	h	支撑间距(m)	b	嵌入深度(m)	c
坚硬岩石	1.0	>2	>5	1.5	1~1.5	1.0	<5	1.3
密砂及坚硬砾石	1.2	1~2	3~5	1.3	1.5~2.5	1.2	5~8	1.2
硬质粘土	1.3	0.5~1	1~3	1.2	2.5~4	1.3	8~10	1.1
可塑状粘土	1.5	<0.5	<1	1.1	>4	1.5	>10	1.0
新填土/淤泥类疏松土	2.0	<0.5	0	1.0				

5.2 计算方法修正后的分析比较

参照上述各表,杭州某商业楼基坑工程各支撑处的修正系数取值见表4。

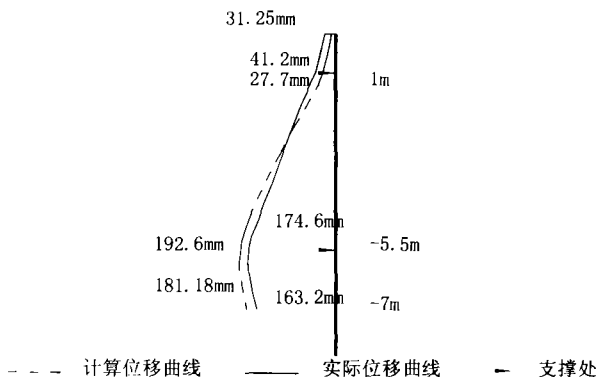
表4 各支撑处的修正系数及修正位移值

支撑部位	a	b	c	d	h	K	S_f (mm)
第1层	0.6427	支撑间距太小不计	1.0	1.5	1.1	4.396	27.7
第2层	1.1934	1.5	1.0	1.5	1.1	6.596	192.6
基坑底部	1.46	1.5	1.0	1.5	1.1	6.863	181.18

实际工程基坑位移与修正后的基坑计算位移曲线比较见图2。

在充分考虑各种影响因素的情况下对 m 法进行修正,用修正后的计算方法对杭州某商业楼基坑工程进行计算,比较发现计算位移与实际位移很接近,可认为修正后的计算公式对此基坑工程的变形计算是适用的。

本研究只针对该基坑工程的资料,实际位移与计算值(m 法)最大比为6.18,差别较大。由于影响基坑变形的不确定性因素很多,基坑支撑开挖的确定性分析本身就相当复杂,各种因素的影响程度很难确切把握。本文提供的修正方法还有待进一步研究和实践检验,仅作为一种方法提出。

图2 修正后的 m 法计算上海某基坑位移与实际位移比较

6 结论

1) 深基坑开挖不仅要保证基坑本身的安全与稳定,而且还要严格控制基坑周围地层移动以保护周围建筑物,所以基坑变形控制设计在基坑工程中显得尤为重要。

2) 基坑开挖过程中要严格控制基坑变形,获得基坑实时变形数据非常必要。

3) 由于土的离散性及施工过程中受到各方面不确定因素的影响,给基坑变形计算带来很多难题。在诸多因素中土体参数、支撑布置情况、基坑开挖尺寸、施工条件是最主要的影响因素,把握好了这些就相当于把握好了问题的关键。

参考文献:

- [1] 姜明明. 饱和软土地区深基坑变形时间效应的研究[J]. 华东船舶工业学院学报, 1998, (3): 100 - 106.
- [2] 李惠强. 深基坑支护结构安全预警系统研究[J]. 华中科技大学学报, 2002, (2): 62 - 64.
- [3] 李云安. 深基坑工程变形控制及其影响因素的有限元分析[J]. 水文地质工程地质, 2001, (4): 1 - 5.
- [4] 高大钊. 深基坑工程设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [5] 高文华. 基坑变形预测与周围环境保护[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, (6): 555 - 559.
- [6] 孙海涛. 深基坑工程变形预报神经网络法的初步研究[J]. 岩土力学, 1998, (4): 63 - 68.