

基坑围护计算的 m 法简易计算方法

罗伟锦, 贾伟江, 张立勇

(浙江省工程勘察院, 浙江 宁波 315010)

摘 要 基于现行基坑规范, 采用解析解以及水平受载桩的理论解等进行 m 法的简易计算, 并用该方法编制了一个程序, 对实际工程进行分析计算, 与实测数据对比, 发现该方法有很高的实用价值。

关键词 深基坑; m 法; 支护结构

中图分类号 :TU473.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1672-7428(2006)02-0023-03

Simplified Method for Foundation Support Calculation Method "m" /LUO Wei-jin, JIA Wei-jiang, ZHANG Li-yong
(Zhejiang Engineering Survey Institute, Ningbo Zhejiang 315010, China)

Abstract :Based on the existing criterion of foundation pit, the analytic solution and theory solution for horizontal loaded pile were taken into account to simplified calculation m. A computer program for the method was developed. The analyses and calculation for actual engineering was made. It was found after comparing the calculation with data measured that the method has high value

Key words :deep foundation pit; the law of m; the structure of support

随着城市化建设的不断深入,地下车库、人防、地下商场等基坑工程越来越多,而且目前在实施基坑工程的过程中,出现的变形过大、失稳等事故也越来越多。基坑工程虽然是个临时性的工程,但一旦出事,在城市中造成的社会影响和经济损失都比较严重,因而备受各方关注。

基坑工程的设计主要通过理论计算和实践经验,一个可靠的理论计算非常关键,传统的等值梁法不考虑围护结构自身刚度,也不能计算围护结构变形,同时被动区统一按郎肯土压力考虑,无法考虑被动侧土压力与变形的关系。m 法(弹性支点法)很好的克服了以上的不足。目前在使用的基坑围护计算软件中, m 法计算过程不是很明确,有不少与现行规范和实际情况有出入。本文主要结合现行的国家规范和实际工作经验,提出了 m 法的简易计算方法,并结合实际工程进行对比分析。

1 m 法基本原理

m 法中土对支挡结构的抗力(地基反力)用土弹簧来模拟,地基反力的大小与挡墙的变形有关,即地基反力由水平地基反力系数和该深度挡墙变形的乘积确定:

$$K_h = A_0 + kz^n \quad (1)$$

式中: A_0 ——地面或开挖面处土的地基反力系数,一般取 0; z ——地面或开挖面以下深度; k ——比例系数; n ——指数,反映地基反力系数随深度而变化的情况。

当 $n=1$ 时, k 用 m 表示,即为 m 法:

$$f = mzy \quad (2)$$

式中: m ——水平地基反力比例系数, kN/m^4 ; f ——水平地基反力; y ——计算点处挡墙的水平位移; z ——同上。

文献[1]给出了支护结构基本绕曲方程:

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} - e_{aik} b_s = 0 \quad (0 \leq z \leq h_n) \quad (3)$$

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + mb_0(z - h_n) - e_{aik} b_s = 0 \quad (z \geq h_n) \quad (4)$$

式中: z ——支护结构顶部至计算点的距离; h_n ——第 n 个工况基坑开挖深度; y ——计算点水平变形。

在国家基坑规范中,围护结构墙后土压力采用主动土压力(朗肯土压力),坑底面以下采用矩形土压力模式,而墙前土体被视作土弹簧,即按公式(2)来确定土压力(图1)。另外,支撑也按弹簧来考虑:

$$T_j = k_T(y_j - y_{0j}) + T_{0j} \quad (5)$$

有了绕曲方程和边界条件,就可以求出支护结构的位移方程,因而可以得到位移图、剪力图和弯矩图。下面详细讲述如何得到支护结构的位移和内力。

收稿日期 2005-08-15

作者简介 :罗伟锦(1978-),男(汉族),浙江上虞人,浙江省工程勘察院工程师,岩土工程专业,硕士,从事岩土设计工程,浙江省宁波市;贾伟江(1956-),男(汉族),浙江萧山人,浙江省工程勘察院工程师,岩土工程专业;张立勇(1972-),男(汉族),浙江诸暨人,浙江省工程勘察院工程师,岩土工程专业。

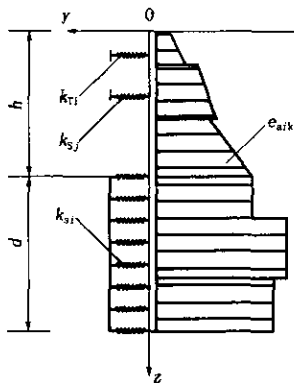


图1 土压力计算简图

2 m 法简易计算方法

由于利用公式(3)和公式(4)得到解析解非常困难,现通过近似的方法对其进行求解,为简单起见,对排桩加一道支撑的围护形式进行分析计算。

2.1 土压力分解

由位移、弯矩及剪力的叠加法,把土压力分为图2所示的2部分。

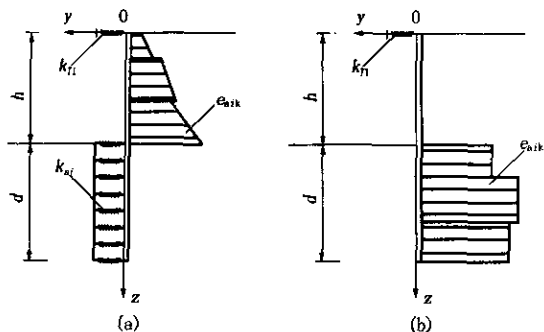


图2 土压力分解示意图

2.2 图2(a)位移、内力计算

2.2.1 用力法原理求解支撑力 T_1

$$\delta_{11}T_1 + \delta_{1p} + T_1/k_{T1} = 0 \quad (6)$$

$$T_1 = -\delta_{1p}/(\delta_{11} + 1/k_{T1}) \quad (7)$$

式中 δ_{11} —— $T_1 = 1$ 时支点处产生的位移; δ_{1p} ——土压力作用下在支点处产生的位移; k_{T1} ——支撑刚

度系数。

这样求得了 δ_{11} 、 δ_{1p} , 就可以求得支撑力 T_1 。

(1) 求解 δ_{1p}

解除了支撑的约束,相当于悬臂式支护结构,因而可以把开挖面以上的水平荷载等效化为开挖面处的水平力和力矩。然后参照桩头作用有水平力和力矩的完全埋置的水平受载桩的理论解(可参见《桩基工程手册》第四章),可以得到开挖面处桩身变位(水平位移 X_0 和转角 φ)。再利用下式可以求得桩顶水平位移 δ_{1p} 。

$$\delta_{1p} = X_0 - \varphi_0 l_0 + \Delta_0 \quad (8)$$

其中 $\Delta_0 = g_b l_0^4 / (30EI)$ (悬臂考虑)。

(2) 求解 δ_{11}

在支点力 $T_1 = 1$ 作用下,先等效化为开挖面处的水平力和力矩,然后采用同求解 δ_{1p} 类似的方式求解得 δ_{11} 。

2.2.2 求开挖面以下位移、内力

求得了支撑力后,可以把开挖面以上的水平荷载及支撑力等效化为开挖面处的水平力和力矩。然后参照桩头作用有水平力和力矩的完全埋置的水平受载桩的理论解,可以求得开挖面以下各深度的位移、弯矩以及剪力。

(1) 求 H_0 、 M_0

$$H_0 = \sum_{k=1}^m E_k - \sum_{j=1}^m T_j$$

$$M_0 = \sum_{k=1}^m E_k h_k - \sum_{j=1}^m T_j h \quad (9)$$

(2) 由 αy 求得参数 A_1 、 A_3 、 A_4 、 B_1 、 B_3 、 B_4 、 C_1 、 C_3 、 C_4 、 D_1 、 D_3 、 D_4 , 并可以得到各深度的弯矩 M_y 、剪力 H_y 及位移 D_y 。

2.2.3 求开挖面以上位移、内力

位移计算可以分解为如图3所示的3部分,然后根据叠加原理,把各部分的位移相加即可。弯矩、剪力可以由平衡方程求得。

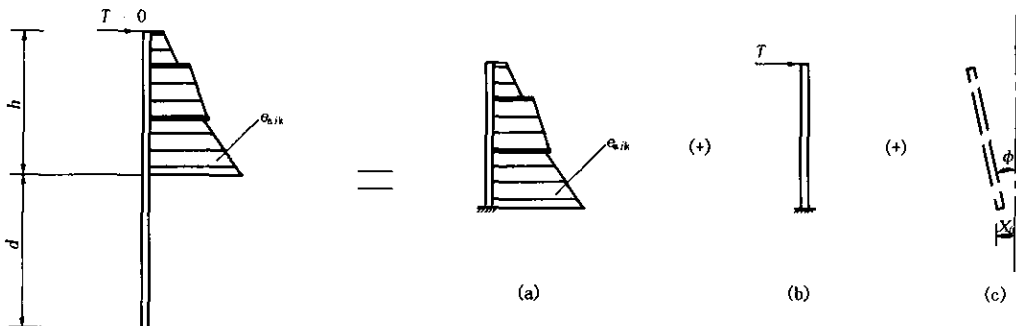


图3 坑底面以上位移计算示意图

2.3 图 2(b)位移、内力计算

按第 2 点计算得到的弯矩值及支撑轴力不考虑基坑开挖面以下侧向水平荷载,以上计算结果弯矩值及支撑轴力偏小。在黄强的《 建筑基坑支护技术规程 JGJ 120 -99 应用指南》上提出了考虑侧向荷载作用时的弯矩增大系数 β_e (式 10)和支撑力增加系数 β_i (式 11)。

$$\beta_e = 1 + (13.5 - 0.3 \varphi) / (10 h) + 0.005 q$$

(10)

式中 h ——支护结构开挖深度 ; φ ——土的内摩擦角 ; q ——地面超载。

$$\beta_i = 1 + (13.5 - 0.27 \varphi) / (10 h)$$

(11)

式中 h ——支护结构开挖深度 ; φ ——土的内摩擦角。

3 工程实例

根据本文的基本原理,编制了一个应用程序,以下通过一个实际工作过程中的一个项目进行分析。

宁波滨江花苑四期地下室基坑开挖深度为 5.6 m,土层情况如表 1,围护采用沉管灌注桩加支撑的形式。

表 1 各土层性能参数表

层号	名称	γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	c /kPa	φ /($^{\circ}$)	厚度 /m
1	填土	18.0	(10.0)	(10.0)	1.6 ~ 2.3
2	粘土	19.4	30.4	11.4	0.5 ~ 0.8
3	淤泥质粉质粘土	17.5	14.4	7.4	7.9 ~ 8.9
4	淤泥质粉质粘土夹粉土	17.5	11.2	8.1	4.1 ~ 5.2
5	淤泥质粘土	17.2	13.6	6.8	5.0 ~ 7.0
6	淤泥质粘土	17.5	15.2	7.6	5.5 ~ 8.3

图 4、5 分别为同济 FRWS 软件和自编软件的计算结果,从计算结果看,弯矩和剪力相差不大,位移值自编软件偏小。根据深层土体位移监测结果,实际最大位移在 60 mm 左右,桩底位移接近于 0。围护桩按最大弯矩配筋,根据实际来看,围护桩上发现几条细裂缝,说明弯矩的理论计算基本也接近实际。

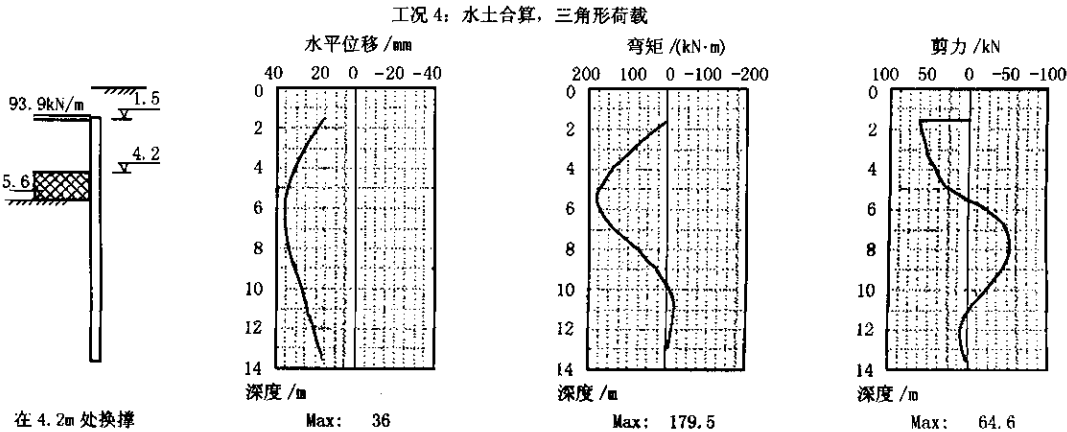


图 4 同济 FRWS 软件的计算结果

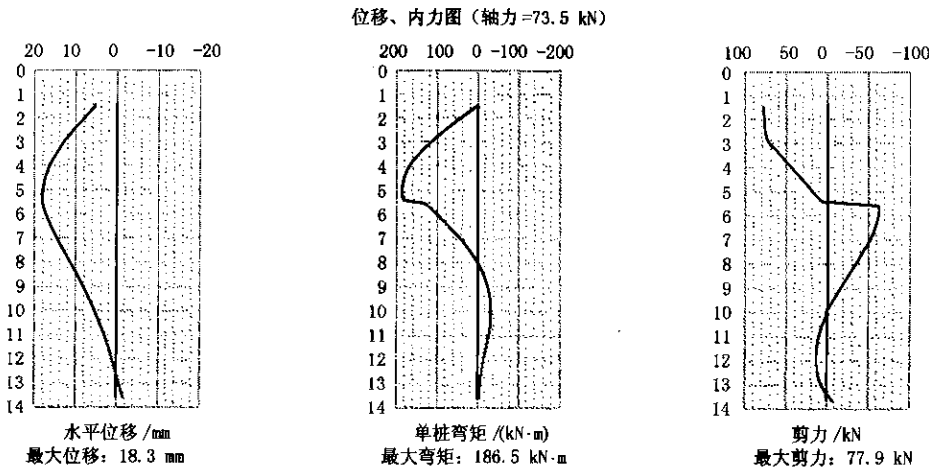


图 5 自编软件的计算结果

5 分析

(1)超前支护微型桩的作用是减少施工分层开挖中的土体侧向变形、支撑喷射混凝土面层重力的垂直分力,加固坑底被动区土体以及改善支护整体稳定性,放坡是减少基坑壁的滑动分力,同时解决坑壁土体的自立问题。

(2)对于本工程虽然上部土层含水量高,基坑侧壁土体较软,有轻微开裂滑移现象,但由于基底根部土体相对较好且有超前松木桩加固支护,使锚固深度以内的破坏面无法向下开展,有效控制了基坑底部土体向上隆起,使得整个支护连同土体沿圆弧破坏面失稳的可能性减小。

(3)产生裂缝的位置地势相对较低,产生裂缝前连下 2 天暴雨,该处基坑壁渗流对土体的动水力作用外,还会影响土的力学性状,使土颗粒间产生移动或错位,其对土的抗剪强度也减小,即内摩擦角和内聚力减小。该处的滑动力(动水力)增大,而土体的抗滑力(抗剪强度)却减小,致使该处土体产生滑移。

6 体会

(1)大型或超大型基坑的开挖深度、周边环境条件以及地基土层的分布往往不尽相同,基坑围护方案不能一刀切,应多种支(围)护方式并存,在时间和空间上进行优化配置,可以节约成本,提高效益。该工程基坑围护经历了暴雨等恶劣天气及时间的考验,效果较好。在本地区同类工程中值得推广。

(2)复合土钉支护技术作为新兴工艺用于软土地基基坑中时间还比较短,人们对其了解和掌握仍

(上接第 25 页)

4 有待解决的问题

由于本文介绍的简易计算方法刚刚完成,还没经过实践验证,有很多不足,以下是一些未解决的或有待解决的问题。

(1) m 法建立在地基反力系数随深度线性变化的基本假定基础上,这个假定是否接近工程实际有待验证。

(2)墙后土压力仍按郎肯主动土压力来考虑有待改进,墙前、墙后均按土弹簧考虑比较符合实际,但求解非常困难。

(3) m 值的取值问题。现行规范规定:在无经验地区或缺乏经验地区, m 值按坑底面位移量 10

不是很全面,这就对此支护形式的设计和施工提出了更高的要求,设计一定要严密合理,准确把握规范所要求的安全系数,全面考虑各种实际因素,而施工更应严格遵循规范和设计要求,并在施工中结合实际情况灵活合理地运用不同施工工艺。

(3)在基坑的围护设计与施工过程中,由于地质条件、荷载条件、材料性质、施工条件和外界其他条件的复杂影响,而且,基于当前土压力计算理论和边坡计算模型的局限性,很难单纯从理论上预测工程中可能遇到的问题。所以在基坑的开挖施工中,对支护结构、基坑邻近建筑物、地下管线以及周围土体等在理论分析指导下有计划的监测,以此监测数据为依据,对基坑支护进行动态设计,在出现不利情况时,能迅速发现并加以控制,使之在未对基坑产生重大破坏之前得以排除。

参考文献

- [1] 刘建航,等. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] CECA96 97. 基坑土钉支护技术规程[S].
- [3] JGJ 120-99. 建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 许光宇,袁培中,等. 复合土钉墙在软土地基中应用[J]. 港工技术, 2002(2).
- [5] 刘广胜,赵维炳. 基坑施工中渗流对抗剪强度的影响[J]. 水利水运科学研究, 2000(1).
- [6] 沙克非. 深基坑支护侧壁变形的控制与监测分析[J]. 科技情报开发与经济, 2001(2).
- [7] 刘玉海,夏朝辉,等. 深层搅拌桩用于 7 m 深基坑支护工程实践[J]. 建筑技术, 1995(3).
- [8] 杨绍祺,吴传清. 喷锚支护及土钉墙技术在中山地区软土基坑工程中的应用[J]. 岩土工程界, 2001(8).

mm 来确定,而目前在软土地区,坑底位移一般有 40~60 mm。因而 m 取值与坑底面位移之间的关系有待进一步研究。

(4)位移计算结果与实际偏小很多,位移模式有待调整。

(5)在考虑基坑开挖面以下侧向水平荷载时,弯矩值及支撑轴力计算经验公式有待改进。

参考文献:

- [1] JGJ 120-99. 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 编写组. 桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 编写组. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001.