

深基坑围护体的土压力及位移分析

李 飞

郝子进

(盐城工学院建筑工程系, 盐城, 224003) (盐城市建筑设计研究院, 盐城, 224001)

摘 要 深基坑围护体的土压力与支护体的变形及位移密不可分, 从变形及位移的角度, 考虑支护与土体的共同作用, 分析土压力分布及围护体支撑内力。

关键词 深基坑 土压力 位移

分类号 TU4

一、问题的提出

随着高层建筑和地下结构的发展, 深基坑开挖普遍展开。工程实践表明, 一方面许多基坑的支护结构中内力远远低于设计应力, 存在很多浪费, 而另一方面又有相当多的基坑施工发生事故, 造成很大损失。其中原因固然很多, 但如何正确地计算支护体上的土压力是一个最基本的问题。土压力的通常计算方法是: 桩后土体侧压力按主动土压力计算, 桩前土体按被动土压力计算。事实上, 侧土压力与支护结构的变形有着密不可分的关系, 许多人对此进行了研究, 进一步还可得到侧土压力与支护结构位移关系曲线。我们把侧土压力换成支护抗力, 可以得到深基坑工程的支护位移曲线。如图1所示, 通过该曲线我们可以对支护与土体共同作用有进一步理解, 从而在更深层次上探讨土压力计算问题。

图1中几个特征点的力学意义是: A点相当于被动侧土压力, 要使土体产生此种位移, 所需要支护抗力最大; B点为静止土压力点, 此点通过支护抗力的作用, 使土体不产生任何横向位移; C点为最小抗力点, 相当于主动侧土压力, 当不考虑其它因素时, 为支护设计应达到的最佳状态; D点当支护抗力不足, 边坡土体发生失稳性变形破坏后, 为修复边坡时, 所需提供更大的支护抗力。

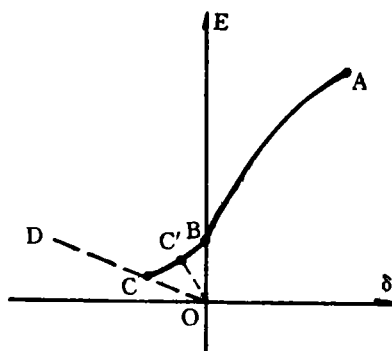


图1

同样, OB、OC、OC' 直线的斜率反映了支护刚度的影响, 支护刚度越大, 则土体位移越小, 相应地所需要的支护抗力也越大, 其中 OC 直线为最佳支护刚度, 当刚度进一步减少时, 此时支护抗力不足以保证边坡稳定, 反而为修复边坡需要更大的支护抗力, 这就是说, 适度柔性的支护对边坡稳定是有利的。但支护系统的柔性是有限的, 增加柔性时, 必然会增大侧壁土体的位移, 这常常又是基坑开挖所不允许的, 即基坑支护设计中的两种验算标准, 一种是基于力或力矩平衡的安全系数方法, 另一种是位移控制设计。从某种意义上讲, 后一种设计验算会更困

难些,但更具有实际意义。

本文从位移的角度提出深基坑围护体侧向土压力分布规律及按位移模式分析围护体支撑内力的方法。

二、根据支护结构位移分析软土土压力分布

基坑开挖的板桩式支撑系统是一种柔性结构,因而板桩本身就会产生较大变形。地下连续墙属于半柔性结构,刚度较大,在同样受力条件下变形量比钢板桩小得多。但原位土—水泥搅拌式排桩挡土几乎是刚性支护,墙体本身变形很小。但是,在土压力作用下,墙体会产生向坑内倾斜。因此,挡土墙的侧向位移由墙体本身挠曲产生的位移和墙体刚性偏斜或平移产生的位移之叠加。根据目前常用的基坑护壁结构形式,选择悬臂型、加水平支撑型和连续墙壁三种护壁结构进行模拟试验和实际工程测试研究,在软土地基上的侧土压力分布形式如图 2 所示,并得出如下结论。

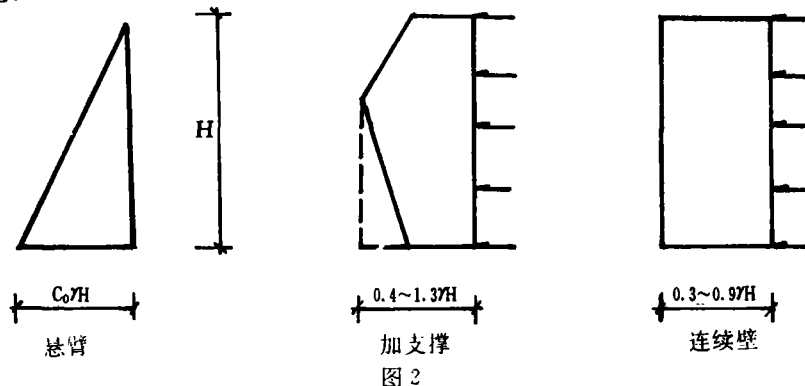


图 2

1、悬臂结构 当护壁结构最大变形量为基坑深度的 2.3‰时,土压力分布呈三角形。土压力值一般可按静止土压力计算取值。

2、有支撑结构 护壁结构最大变形量达到基坑深度的 3.4‰时,土压力在 0.375H 范围内呈梯形分布,以下基本为矩形分布,底部有收敛趋势。当护壁结构将发生破坏时,此部分土压力发展成矩形分布,且不论实测或模型试验结果,均得出在基坑顶部支撑下第二道支撑处,出现土压力分布图形曲线的折点即最大土压力峰值。一般该值为 0.47H,模型试验中护壁结构破坏时,该数值可达 1.37H。

3、连续壁结构 当护壁结构的最大变形量达到基坑深度的 3.8‰时,土压力在 0.75H 范围呈矩形分布,以下呈收敛趋势。土压力值一般为 0.37H,模型试验到护壁结构将破坏时,土压力值可达到 0.97H。

4、悬臂结构的变形随基坑深度与护壁结构嵌入深度比值的变化,呈曲线率增长。有支撑结构和连续壁结构随该比值的变化,呈直线率增长。

5、基坑开挖速率的大小,是影响护壁结构,产生破坏的原因之一,高开挖速率易使护壁结构产生破坏,低开挖速率可使护壁结构内应力自我调整,达到重分布,有利于发挥护壁作用。

6、软土地基基坑护壁结构变形具有滞后性。因此护壁结构破坏的发生较迅速,具有突变性。护壁结构将产生破坏前,土压力值的变化比较剧烈,可出现峰值。

三、根据位移分析围护体支撑的轴力

当挡土墙为钢板桩或地下连续墙时,将产生水平移动和挠曲,变形曲线为抛物线,如图3所示,位移曲线方程为:

$$X = aZ^2 + bZ + c \quad (1)$$

设最大位移点为 (Z_m, X_m) ,墙顶位移为 c ,则

$$a = \frac{c - X_m}{Z_m^2} \quad (2)$$

$$b = -\frac{2(Z - X_m)}{Z_m} \quad (3)$$

设桩长为 H ,定义最大位移点位置系数 $f = Z_m/H$ 。根据国内外基坑实例资料统计结果, f 值变化范围为 $0.333 \sim 0.675$ 。软粘土 f 值取上限,硬粘土取中间值,砂性土取下限值。

D·A·Polina 于1971年通过工程实测资料统计得到了支撑结构最大侧移量与开挖深度的关系^[5],根据该资料,结合土性和开挖深度可参考取最大侧移值。

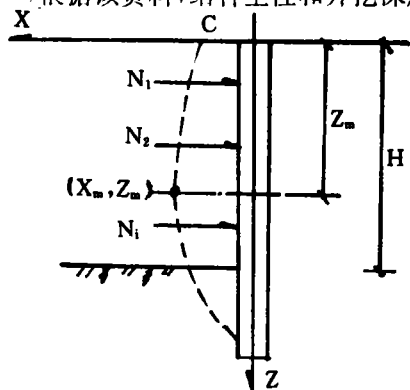


图3

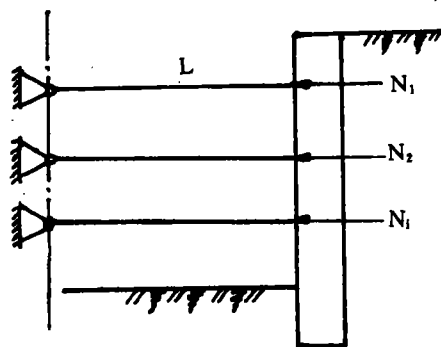


图4

横撑在两端墙体的压力作用下,产生向中心的压缩变形,但其两端受力应相等。因此,杆中点变形应为零。可把支撑中点视为假想铰。每侧墙体位移由横撑长度的一半来承担,对于宽度为 B 的基坑,撑杆变形计算长度 L 可取 $B/2$,如图4所示,则横撑变形及轴力图为:

$$X_f = \frac{N_i L}{EA} \quad (4)$$

$$N_i = \frac{EA}{L} X_i \quad (5)$$

式中 E 为横撑的弹性模量, A 为横撑的截面积。

某工程地下室基坑平面尺寸为 $50\text{m} \times 43\text{m}$,基坑最大开挖深度为 9.4m ,围护结构采用钻孔灌注桩排桩组成的墙体及内支撑挡土。挡土墙体中钻孔灌注桩径 $\varnothing 600\text{mm}$,桩中心距 900mm ,桩长 20.2m 。支撑采用三道钢支撑,所有支撑均为 $\varnothing 609 \times 9$ 钢管,支撑间距为 6.6m ,第一道支撑 $Z_1 = 1.0\text{m}$,第二道支撑 $Z_2 = 3.2\text{m}$,第三道支撑 $Z_3 = 5.8\text{m}$,钢支撑弹性模量 $E = 2 \times 10^8 \text{KN/m}^2$,计算长度 $L = B/2 = 21.5\text{m}$,钢管截面积 $A = \pi(d^2 - d_i^2)/4 = \pi(0.609^2 - 0.6^2)/4 = 8.54 \times 10^{-3} \text{m}^2$,最大侧移点深度 $Z_m = 0.373H = 7.534\text{m}$,最大侧移量 $X_m = 17 \times 10^{-3} \text{m}$,墙顶

位移 $c=0$ 。将已知参数代入上述有关公式,得:第一道支撑轴力 $N_1=334.8\text{KN}$;第二道支撑轴力 $N_2=903.9\text{KN}$;第三道支撑轴力 $N_3=1279.14\text{KN}$ 。由于位移计算中所有参数是根据同类工程实测结果选取。因此,工程实测资料积累越多,计算参数选择更合理,计算结果更可靠,因而需进一步积累工程实测资料。

四、几点说明

1、深基坑开挖所产生的土体位移容易引起相邻道路和旧建筑物发生裂缝,且过大的变形会导致结构失稳破坏,为此,基坑支护设计必须计算和预估变形量,基坑开挖应严格控制变形量,这是支护成败的决定因素。围护多为临时构筑物,容许应力采用较大数值,一般控制桩顶水平位移 $\leq 2\text{cm}$,桩身变形 $\leq 0.1\% \sim 0.7\%$ 开挖深度,能满足对周围环境的要求。

2、监测是管理的重要辅助手段,其数据是技术人员的眼睛,其重要性已逐步被人们所认识。支护体系的变形是与土的外界因素相互作用的反映,变形的大小是度量整个支护系统是否正常工作的最直观标志,又与相邻建筑物、地下管线、交通设施的沉降与变形紧密相关。所有突发性的稳定破坏之前,支护体系也总有变形与裂缝的前兆。因此,桩顶水平位移和桩身变形一般是必测的,对于多层复杂的基坑开挖宜采用信息施工技术,与施工过程密切结合,进行动态设计,效果会更好。监测积累的数据,对于修正地区土压力模型,确定合理计算参数,以及改革和发展设计理论都是必不可少的。

3、基坑开挖后,支护体的位移及其上土压力的大小都会随时间而变化,如何正确地分析位移与土压力的相互关系,通过位移控制设计,仍然需从理论与实践的结合上深入研究。

参考文献

- 1 黄运飞编著. 深基坑工程实用技术. 北京兵器工业出版社, 1996
- 2 蔡伟铭, 胡中雄编. 土力学与基础工程. 中国建筑工业出版社, 1991
- 3 董熙龄主编. 高层建筑地下结构及基坑支护. 北京宇航出版社, 1994
- 4 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程学. 1991
- 5 Peck R B. Deep Excavations and Tunneling in soft Ground. Proc. , 7th. Internal Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sate of the Art Volume Mexico City

(上接第 13 页)

因为 $f(Bc\mu) = ABC\mu + R(ABC) = R(ABC)$

所以 $Bc\mu \in \ker f$, 则

$$R(BC) \subseteq \ker f$$

故有

$$\text{rank}(ABC) \geq \text{rank}(AB) + \text{rank}(BC) - \text{rank} B$$

在定理 5 中, 若令 B 为 n 阶单位阵, C 为 $n \times s$ 矩阵, 此时就得到定理 4 结论。

参考文献

- 1 S. Lpschutz. 线性代数的理论和习题. 上海科学技术出版社, 1983
- 2 吴品三. 近世代数. 高等教育出版社, 1985
- 3 张禾瑞, 郝炳新. 高等代数. 高等教育出版社, 1988