深基坑桩锚支护体系主动区土压力试验研究

吴文 吴玉山

(中国科学院武汉岩土力学研究所,武汉 430071)

【摘要】 通过现场试验,研究了深基坑桩锚支护体系主动区土压力的分布规律。结合有限元和离 心模型试验,提出了中等硬度粘土的深基坑桩锚支护体系主动区土压力设计计算模式。

【关键词】 深基坑;桩锚支护体系;主动区土压力

(Abstract) Through the in – situ test, the active area soil pressure distribution of pile – anchor system for deep pit is studied in this paper. Based on the finite element method and centrifugal test, the design – calculation model of active area soil pressure is given for moderate hard clay in deep excavation

[Key words] deep pit; pile - anchor protection; soil pressure in active area

0 引 言

深基坑中土压力是一个极为复杂的和重要的参数。①经典土压力理论:悬壁桩支护 结构的土压力近似为朗肯或库伦土压力的分 布形式,基坑上部小下部大的三角形分布,只 是在数值的大小上有一定的差异而已;②经 验土压力理论:桩或墙与内支撑的支护体系 的土压力分布形式有用太沙基-佩克土压力 包络线,亦有用泰西勃特奥夫(Teshebotarioff)土压力分布形式。

库伦和朗肯土压力理论均为挡土墙而建 立的,而与深基坑支护的桩墙是有差别的。 经典土压力理论用于深基坑计算存在下列一 些问题:①库伦、朗肯理论计算公式是针对先 有墙,后填土的挡土结构,而深基坑支护则是 先在地面打桩或筑墙,存在静止土压力,当基 坑内挖土,支护桩有一面临空,随着挖土深度 的增加,桩承受的土压力随桩的变形逐渐发 生变化,由静止土压力向主动土压力变化;② 库伦和朗肯土压力理论均假设为墙后填土为 均质无粘性土,或有粘性土则看成散粒体,而

基坑开挖的土层一般为杂填土、粘土、粉土、 砂土等固结的原状土,一般情况下桩土之间 存在摩擦力;③土压力值与桩侧向变形关系 十分密切,一般认为达到主动极限平衡状态 所需的位移量很小,为桩开挖高度的1‰~ 8‰,但桩前达到被动土压力极限平衡状态, 需要桩的位移比主动区要多十几倍,一般情 况下不易达到;④库伦和朗肯土压力理论所 解决的问题是按平面问题考虑的,而深基坑 实际上应考虑时空效应。实践中对闭合挡土 桩测试其位移,证明不是平面现象,基坑的滑 动面受相邻边的制约,与挡土墙的边界条件 不同,支护桩的位移不但与开挖深度有关,而 且与宽度有关。基坑位移监测结果表明,基 坑四角的桩顶位移最小或没有,而中部位移 最大,说明中部桩受力最大;⑤对于桩锚支护 的基坑,库伦和朗肯土压力理论均无法考虑 土锚的作用。经验土压力分布是在基坑边开 挖边支护板桩和内支撑情况下测定而进行的 经验总结。在用到桩锚支护的深基坑土压力 计算,将无法考虑土锚的作用及桩的嵌固段

作者简介:吴 文,男,高级工程师。1987年毕业于重庆大学采矿工程系。1993年调入中国科学院武汉 岩土力学研究所。现为在读硕士生,致力于深基坑支护理论的研究和岩土工程测试研究工作。 的影响。

桩锚支护的深基坑土压力分布如何,采 用何种计算模式值得研究。有采用经典土压 力理论计算并乘以一个折减系数,有采用经 验土压力分布包络图进行计算。上述计算方 法均没有考虑桩锚土的相互作用和支护桩变 形对土压力的影响,为了确定桩锚支护的深 基坑中主动土压力随桩锚位移变形的相互影 响和分布规律、大小,选择了一个有代表性的 深基坑进行为期三个月的土压力测试。

1 试验基坑的基本情况

试验基坑面积约为 $45.0m \times 34.0m =$ 1 $530.0m^2$ 。基坑开挖深度为 $12.24 \sim 15.44m$ (地 面标高略有差别),三层地下室。基坑支护采用 桩锚结合的支护型式。采用 ϕ 1.0m 的人工挖 孔桩作为支护桩,一桩一锚,2~3 层锚杆,锚杆 长度 19.0~23.0m,倾角 15°。地层特征见表 1。 由表 1 可知基坑内土层属于中等硬度粘土,基 坑支护及开挖工况见图 1。



图 1 基坑支护及开挖工况图

表1 基坑地层特征表

| 层号 | 土层名称 | 厚度 <i>H</i> /m | 土的重度 γ/(kN·m ⁻³) | 土的粘聚力 c/kPa | 土的内摩擦角 $\varphi/(°)$ | 土的压缩模量 E _s /MPa |
|-----|---------|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 杂填土 | 2.3 | 19.5 | 20.0 | 10.0 | |
| 2 | 粉质粘土 | 1.9 | 20.4 | 36.0 | 14.0 | 10.7 |
| 3-1 | 粉质粘土 | 4.7 | 20.5 | 50.0 | 15.0 | 26.5 |
| 3-2 | 粘土 | 10.7 | 20.5 | 50.0 | 12.0 | 22.5 |
| 4 | 粉质粘土夹砾砂 | 2.9 | 20.7 | 30.0 | 15.0 | 10.9 |
| 5-1 | 粉细砂 | 9.4 | 19.9 | 16.0 | 15.0 | 9.7 |

试验使用的土压力盒是由中国科学院武 汉岩土力学研究所研制的 DPT5-1 型油腔式 双膜土压力盒,其量程 0.5MPa。土压力盒 埋设在 S-3 监测点正护坡桩后 1.0m 处,由 钻孔开孔,用两根钢筋和圆盒固定土压力盒 埋设于钻孔中预定位置,并用干砂回填密实。 其埋设位置见图 2、3。

2 土压力实测结果及分析

采用电阻应变仪对基坑主动区土压力进

行现场观测。首次观测时间为 1997-03-11, 结束时间 1997-06-04,历经基坑未开挖,一层



图 2 土压力盒平面位置

3/4

(%)

139.7

120.0

124.1

946.9

24.3



图 3 土压力盒立面位置

45.050

71.394

98.818

125.701

表 2

111.691

111.691

111.691

111.691

开挖、二层开挖、三层开挖、四层开挖。每层 开挖深度 3.0~4.0m,每层开挖后施工一层 锚杆并施加预应力。土压力实测值是通过应 变仪每次观测的应变变化值,再经过应变率 定曲线换算成应力值。

2.1 土压力沿基坑深度方向的变化

61.4

122.8

867.6

971.4

表 2 是理论计算值与实测值的比较, 土 压力测试结果见图 4。

152.3

190.6

980.6

863.1

土压力 p/kPa 太沙基-Teshebota 实测土 0/4 2/4朗肯值① 标髙 佩克值② - rioff 值③ 压力值④ (%) $(\ddot{\%})$ H/m+27.000.000 0.000 0.000 + 20.2 33.562 111.691 68.000 48.666 69.0 229.5

88.000

102.051

107.850

3.150

理论计算值与实测值的比较表



。朗肯 +实测值 ·Tesh *太沙基 图 4 理论计算土压力与实测土压力分布图

(1)从图 4 中可以看出, 朗肯土压力、泰 西勃特奥夫土压力和实测土压力值均在太沙 基-佩克经验包络线之内。因此, 桩锚支护结 构的土压力计算模式采用太沙基-佩克土压 力包络线会使计算结果偏大, 这与实际工程 中得到的结论是一致的。在武汉地区桩锚支 护的土压力计算模式一般不采用太沙基-佩 克土压力包络线。

73.333

58.600

11.390

12.940

(2)实测土压力分布形式近似呈上下小中 间大的三角形,与泰西勃特奥夫土压力分布相 类似,最大值位于三层锚杆的中下部。随后土 压力值逐渐减小,最小值位于基底底部附近。 若以 k_a · γh 计算最大值,则 $k_a = p_{max}/(\gamma h) =$ 73.333/(20.0×15.0)=0.244 4。当然这是正 常使用状态时的土压力值。

(3)在桩锚支护结构中应用朗肯土压力 值计算将使下部偏大。在第三层锚杆以下该 土压力值与实测值之比达 800%以上,误差 较大。

(4)悬臂桩的实测土压力分布为上小下 大的三角形分布。但对于桩锚支护结构中, 由于土锚皆为预应力锚杆,锚杆预应力的作 用改变了土压力的分布,使锚杆附近处的土 压力值增大,基坑底部附近的土压力值减小。
2.2 土压力随时间的变化规律

在基坑开挖之前,由于没有任何变形空间,一般来说,土压力等于作用于被测点处的 静止土压力,但由于埋设土压力盒的钻孔中

+18.2

+16.2

+14.2

+12.2

的回填砂的密实性比原状土差,故实测值比 计算值小,随着基坑的逐渐开挖,护坡桩逐渐 被暴露出来,护坡桩在悬臂状态下产生位移, 形成主动土压力,显然这时的主动土压力一 般小于静止土压力。随着土锚施工和土锚预 应力的施加,土压力发生明显的变化,形成了 上小、下小、中间大的三角形分布的土压力的 变化规律。最大值随土锚增加而往下移,当 基坑开挖到底后的5月16日和6月4日土 压力基本上趋于稳定。图5是实测土压力随 时间的变化规律。



图 5 实测土压力随时间的变化规律

3 有限元分析结果

粘性土的土压力问题许多学者作了大量 的研究,四川省建筑科学研究院的"重力式挡 土墙与土压力的试验研究"(1982),岳祖润等 (1992)的离心模型试验研究^[1]及本文的现场 试验研究都得出了土压力分布呈上下小的三 角形分布形式。由于土锚的作用,使锚杆附 近的土压力增大,而基坑底部的土压力接近 零。利用岩土非线性有限元考虑桩锚土的相 互作用后,计算得到的土压力见图 6。从图 中可以看出,预应力土锚改变了土压力的分 布,基坑支护桩后的土压力分布趋势为上、下 小,中间大,计算土压力与实测土压力分布具 有相同的趋势,且最大土压力值发生在第二 层土锚中下部。对中等硬度粘土的深基坑桩 锚支扩体系主动区土压力,设计计算模式可 采用文献[2]提供的方法,即泰西勃特奥夫的 修正模式,见图 7。



图 6 非线性有限元分析土压力分布图



图 7 中等硬度粘土泰西勃特奥夫修正模式

4 结 语

通过现场试验,获得了对中等硬度粘土 的深基坑桩锚支护体系主动区土压力分布规 律,即上下小中间大的三角形分布的土压力 分布规律。设计计算时可采用泰西勃特奥夫 的修正模式。

参考 文献

- 岳祖润等. 压实粘性填土挡土墙土压力离心模型试验. 岩土工程学报,1992,14(6)
- 2 吴文.深基坑桩锚支护体系的支护机理、现场试验及数值分析研究:[学位论文].武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所,1998

收稿日期:1998-12-07