

基坑水平位移与土钉拉力的 现场测试分析

李思平 周 辉 李 川
(广东省水利水电科学研究院, 广州 510610)

【摘 要】 通过某基坑工程土钉支护的水平位移和土钉拉力等现场测试, 分析土钉在施工过程中的一些变化规律及受力特性, 对土钉的设计和施工提出一些有益建议。

【关键词】 基坑工程; 土钉支护; 现场测试

【中图分类号】 TU 196.4

In-situ Test Analysis for the Horizontal Displacement and the soil Nailing Tension of a Foundation Pit

【Abstract】 Through the in-situ tests for the horizontal displacement and the soil nailing tension of a foundation pit, analyzing the change regulation and mechanical characteristics of soil nailing during construction, giving some beneficial suggestions.

【Key words】 foundation pit; soil nailing; in-situ test

1 工程概况

根据某商住楼基坑周围的环境和场地情况, 东、西、北三面采用土钉墙支护, 南面放坡挂网抹水泥砂浆, 土钉采用 $\phi 20$ mm、 $\phi 22$ mm 钢筋, 横向间距 1.50 m, 纵向间距 1.30 m, 长度为 8.0~11.0 m, 基坑开挖深度约 9.0 m。土钉设计钻孔直径为 $\phi 130$ mm, 孔内注浆采用水灰质量比为 0.5 的纯水泥浆, 要求注浆强度等级不低于 20 MPa, 注浆压力为 0.5 MPa, 土钉端部用 4 根 $\phi 16$ mm 加强筋上下左右焊接成井字形布置, 并安装 200 mm \times 200 mm \times 20 mm 的钢垫板, 通过拧紧螺母对土钉施加少量预应力。由于本工程基坑周边有道路、地下管线、建筑物存在, 条件复杂, 为确保基坑支护安全, 选择靠近建筑物(住宅楼)的北面基坑进行基坑水平位移(测斜)、土钉受力情况及地下水位变化监测。

本工程布置桩径 $\phi 1$ 200 mm; 桩长 15~

20 m, 桩间距 8.0 m 的人工挖孔桩, 挖孔从 -2.10 m 开始, 挖桩孔深 22.50 m~27.50 m, 采用跳挖挖孔施工。

2 地质情况

基坑开挖范围的地层为杂填土、粉质粘土, 其主要性质为:

①杂填土: 灰褐色—黑色, 以碎石、砂砾、粘性土、建筑垃圾为主, 含硬块 30%~40%, 松散, 稍湿。层厚 1.90~2.00 m。

②粉质粘土: 紫红色, 深度 1.9~13.5 m 为软塑—可塑, 深度 13.5~15.6 m 为硬塑, 泥质粉砂岩风化物, 湿水易软化, 该层深度 2.00~12.00 mm, $N_{63.5}=5\sim 6$ 击; 12.00~15.60 m 范围, $N_{63.5}=11\sim 12$ 击。土工试验结果, $w_0=24.5\%\sim 38.4\%$, 平均 31.9%; $e_0=0.697\sim 1.163$, 平均 0.928; 重度 $\gamma=17.6\sim 20.4$ kN/m³, 平均 19.0 kN/m³。

场地内地下水埋藏较浅, 静止水位埋深 0.25~1.10 m, 地下水主要贮存于上部松散土层及粉质粘土层的孔隙中。土钉墙支护分层分段开挖, 均用锚杆钻机成孔, 在施工中没有采取降水措施, 只是在坡面上到设置排水孔。

3 监测点布置及仪器安装

监测点平面布置见图 1, 监测内容为^[1]:

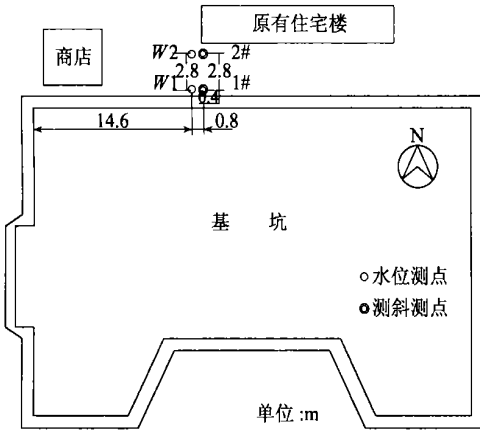


图 1 监测点平面布置图

3.1 基坑水平位移监测(测斜)

在基坑北面西段选择一断面设置 2 个测斜孔, 孔深 15 m, 测试土体水平位移。1[#]测孔

距喷锚面 0.4 m, 2[#]测孔距喷锚面 3.2 m。埋设方法: 采用 $\phi 130$ mm 钻机成孔, 孔深 15 m, 放入测斜管(内径 43 mm, 外径 53 mm, 壁厚 5 mm 的 PVC 硬塑料管)及管口保护套, 然后灌入水泥浆, 保证与土体紧密接触, 待水泥浆凝固至一定强度(约 3 天)后, 即进行初始值测试, 测试仪器采用英国 MK4 测斜仪, 其精度可达 0.1 mm。

3.2 地下水位监测

水位监测孔设置 2 个, 孔深为 10 m, 设在测斜孔侧并与测斜孔相对应。

3.3 土钉应力测试^[2]

在基坑北面选取一断面(该断面位置与测斜管断面位置相距约 0.8 m)上, 四排土钉安装 3~4 支钢筋计, 测试土钉的受力情况。埋设方法: 先将钢筋计与土钉芯杆钢筋焊接, 然后把焊接好的钢筋计放入土钉孔($\phi 130$ mm), 测试电缆(五芯)顺着钢筋引出至孔口并与集线箱连接, 然后灌入水泥浆。测试采用南京自动化设备厂生产的 SQ-2 型数字式电桥。测量精度: 电阻比 1/0.01%, 电阻值 $\pm 0.02 \Omega$ 。监测点的平面布置及钢筋计布置见图 2。

钢筋计编号型号对照表

钢筋计编号	仪器型号
K2-1	KL-20
K2-2	KL-20
K2-3	KL-20
K2-4	KL-20
K3-1	KL-25
K3-2	KL-22
K3-3	KL-22
K3-4	KL-20
K5-1	KL-25
K5-2	KL-22
K5-3	KL-20
K6-1	KL-22
K6-2	KL-22
K6-3	KL-20

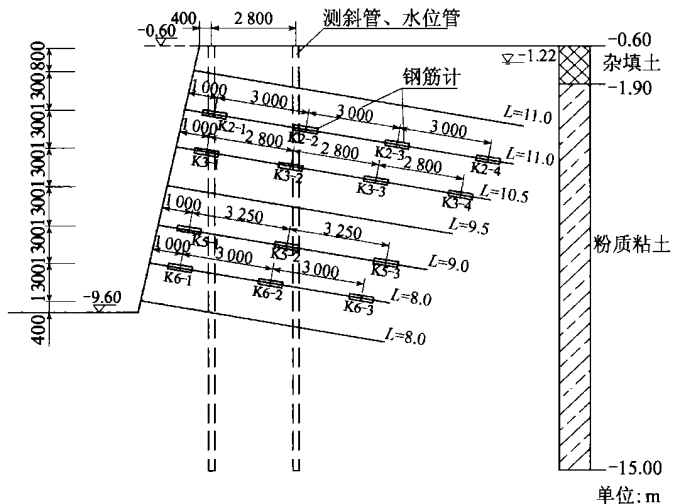


图 2 测点布置剖面及地质情况图

设计要求土钉的水平抗拔力大于 90 kN, 考虑到同一断面不同排的土钉在不同位置的受力差异较大, 因此, 钢筋计的选型也有所不同, 但尽量接近于土钉钢筋的直径。选取的钢筋计型号为: KL-20 型(量程 0~63 kN), 7 支; KL-22 型(量程 0~76 kN), 5 支; KL-25 型(量程 0~98 kN), 2 支。最小读数(灵敏度): $<0.9 \text{ MPa}/0.01 \%$ 。现场测试测量值为电阻比 Z 和电阻值 R_1 。

4 测试情况及测试结果分析

4.1 测试情况及结果

土钉墙施工与基坑开挖交替进行, 即基坑开挖到一定深度后, 再进行土钉施工, 然后进行下一层开挖。基坑北面于 1998 年 7 月 6 日挖至 -2.7 m 深(第 2 排土钉位置), 测斜孔、水位孔及第 2 排土钉钢筋计的安装于 7 月 14 日完成, 并开始测试初始值。其余第 3、5、6 排土钉钢筋计根据基坑开挖支护施工进度进行安装和测试。土钉墙水平位移图见图 3, 土钉受力图见图 4、图 5, 土钉

沿基坑深度受力分布见图 6, 水位变化图见图 7。

第 2 排土钉施工完后, 暂停土方开挖, 并于 1998 年 7 月 18 日开始施工工程桩(人工挖孔桩), 挖孔桩靠近基坑边施工, 孔深超过 20 m, 随着挖孔的不断挖深, 基坑水平位移也不断增加, 挖孔桩施工完成后, 重新开始开挖基坑(9 月 7 日), 9 月 19 日基坑挖至 -6.8 m 时(第 5 排土钉位置), 基坑水平位移急剧增大, 9 月 22 日, 在基坑北面坡顶距喷锚面 2.5 m 处地面出现裂缝, 距喷锚面约 6.5 m 处的住宅楼下水道(与基坑平行)开裂, 裂缝宽约 1.0 cm, 下水道内的生活废水全部经裂缝漏走, 并由土钉墙脚渗出。由水位变化图可见, 2[#]水位孔的水位比 1[#]水位孔低, 表明该侧边坡土的地下水也由此裂缝渗漏。另外, 在土钉墙面约 -2.5~-5.0 m 范围也出现裂缝, 此位置与 1[#]测孔最大位移位置相对应。因基坑水平位移过大, 导致 1[#]测斜管严重弯曲, 使测斜仪不能通过而报废。

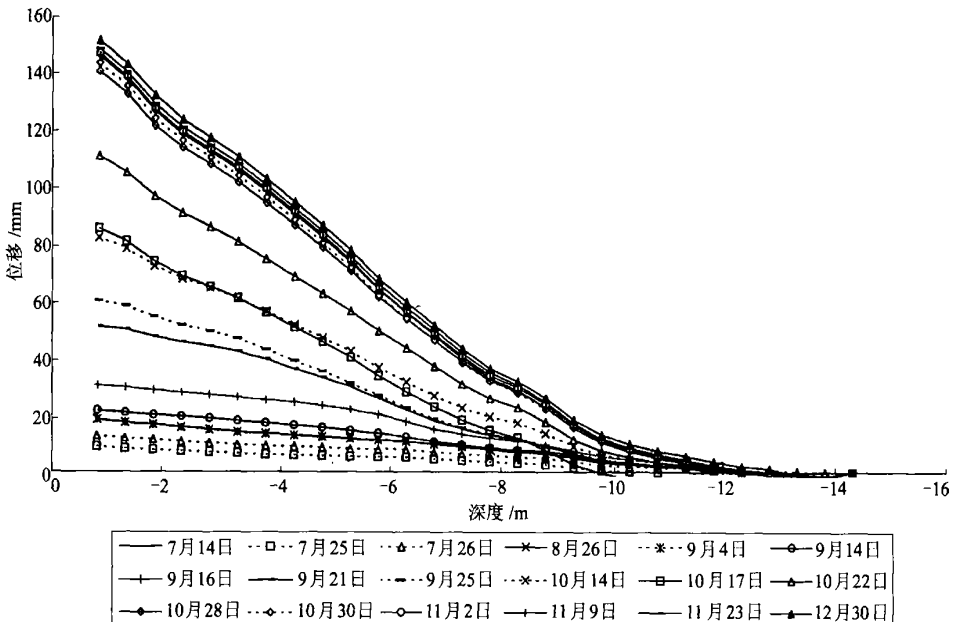
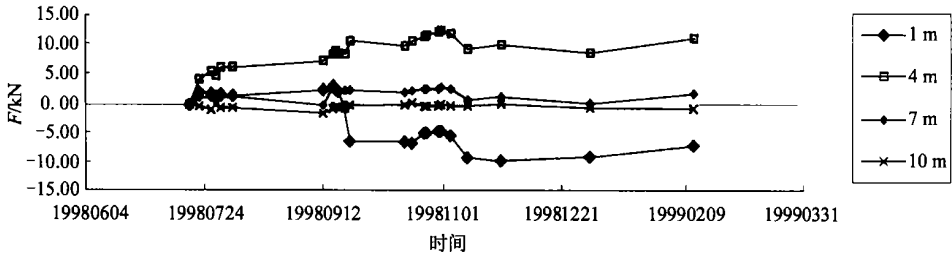


图 3 2[#]测斜孔测斜结果

第2排土钉受力发展趋势图



第2排土钉受力图

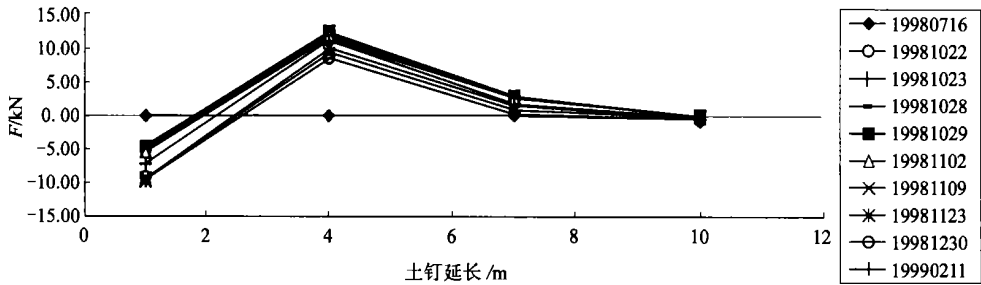
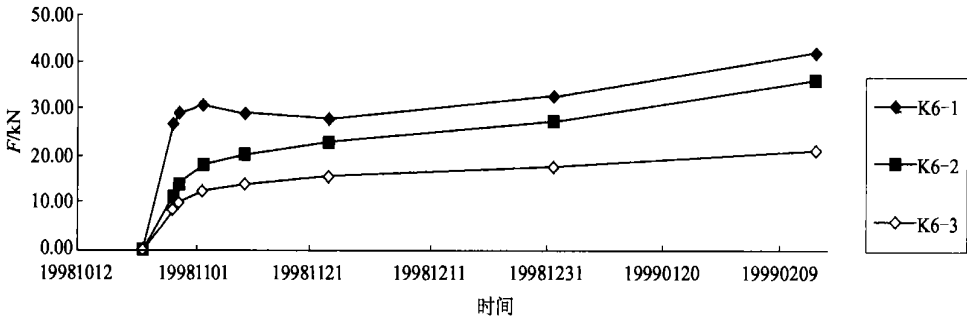


图4 土钉受力发展趋势和受力图

第6排土钉受力发展趋势图



第6排土钉受力图

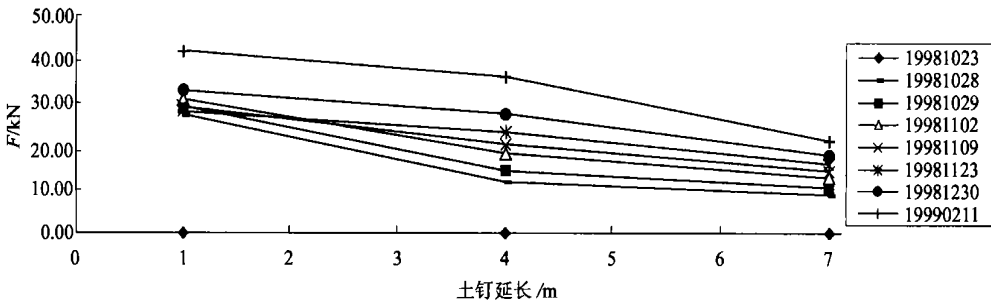


图5 土钉受力发展趋势和受力图

由于基坑水平位移过大, 基坑支护已濒临失稳状态, 后经覆土(9月20日)作临时抢险措施才暂时控制了其位移的进一步发展, 并在-4.00 m和-6.00 m处各加一排预应力锚杆作为加固措施, 锚杆的水平间距分别为1.5 m和2.0 m, 长度为23 m和20 m, 角度(与水平面)为 25° , 锚杆预应力锁定值为132 kN和120 kN, 采用砼腰梁连结。

增加的二排预应力锚杆经张拉锁定后, 10月16日基坑继续下挖, 并对余下第5、第6排土钉采用二次注浆工艺。基坑挖到底后, 地下水基本稳定在-6.3 m左右。土钉经采用二次注浆工艺后, 土钉的抗拔力明显得到提高, 至基坑变形达到稳定时, 第5排土钉拉力最大值为43.2 kN, 第6排土钉拉力最大值为41.8 kN。因此, 与上几排采用一次注浆的土钉相比, 二次注浆对提高该土层土钉的界面连结强度起着重要作用。

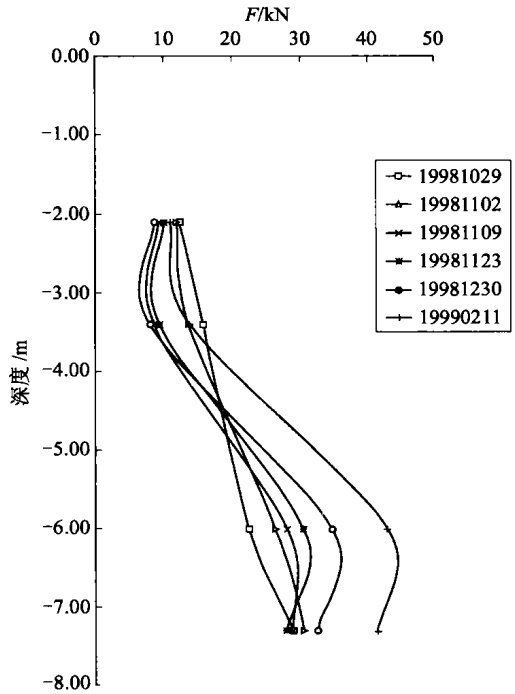


图6 土钉沿基坑深度受力分布图

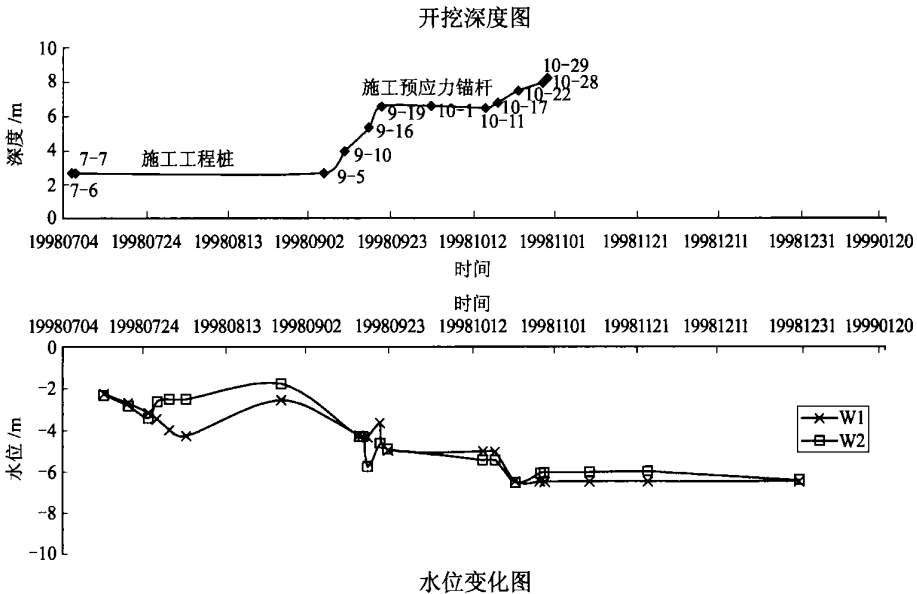


图7 开挖深度和水位变化图

4.2 测试结果分析

基坑开挖过程中, 基坑支护系统水平位移过大, 几乎使基坑处于失稳状态, 而上层几排

土钉的受力明显偏小(土钉最大拉力仅为6.3~11.6 kN), 土钉的受力与基坑位移极不协调, 其抗拔力远远低于设计值, 归纳起来有

如下几点原因:

1) 喷锚施工中期开挖工程桩(挖孔桩)

基坑挖至-2.7 m 时开始施工工程桩(挖孔桩),由1#点观测到:挖孔挖到底时(8月26日),土体从-14.0 m 以上已产生位移,-8.8 m 处位移 14.6 mm,-3.3 m 处位移达 23.2 mm。在挖孔桩施工过程中,因基坑被动侧土体开挖卸载,出现被动土体的应力松弛现象,随着应力的释放,使土体产生松动侧移。而0~-12.0 m 范围土体呈软塑—可塑状,土体自立能力差,致使土体水平位移偏大。

2) 土钉加固区土体的抗剪强度偏低

开挖深度范围内土体呈软塑—可塑状态,孔隙比较大,开挖后土体湿水极易软化,对土

钉的设计抗拔力有较大影响。

3) 地下水问题

场地内地下水位较高,静止水位埋深 0.25~1.10 m,地下水位高的软弱土层,在基坑开挖前,未采取降水措施,开挖后,开挖面有少量水渗出,由图7可见,其地下水位均在开挖面以上。另外,在基坑北面土钉墙共抽取6根土钉进行抗拔试验,试验结果见表1。由土钉抗拔试验反算的土钉极限粘结强度为 11~23 kPa,平均 17.4 kPa,此值远低于《土层锚杆设计与施工规程》软塑土体的极限粘结强度标准值($\tau_u=30\sim40$ kPa)。虽然不排除因土钉施工质量问题引致的可能,但地下水的影响仍然是不容忽视的因素。

表1 土钉抗拔试验结果

土钉编号	土钉位置	土层类型	土钉长度/m	最大抗拔力/kN	界面极限粘结强度/kPa
1	第1排	粉质粘土	11	51	11
2	第2排	粉质粘土	11	15	3.3
3	第2排	粉质粘土	11	54	12
4	第2排	粉质粘土	11	100	22
5	第3排	粉质粘土	10.5	100	23
6	第3排	粉质粘土	10.5	82	19

4) 土钉施工质量问题

①每段基坑开挖的横向长度过大(达 15~20 m),坡面裸露时间长,未能及时加以支护,使基坑变形增大。

②因土钉加固区的土体大多呈软塑状,土质较软,用水清孔后使土体进一步软化,土钉定位架下沉,导致土钉钢筋陷入泥中,土钉的抗拔能力严重降低。

③注浆时未在孔口设置止浆塞(袋),未能保证土钉孔充满水泥浆,致使土钉与周围土体的结合不够紧密。

5) 二次注浆问题

上层几排土钉受力很小,除了以上几种原因外,土钉的注浆工艺也是重要因素之一。下层两排土钉(第5、6排)改用二次注浆工艺后,其受力明显增加,土钉受力趋于正常,说明一次注浆时因水泥浆的干缩产生的裂缝和土体

本身的孔隙已被二次注浆时的水泥浆充填,从而使土钉界面粘结强度得到较大的提高。

4.3 土钉受力特性分析

1) 基坑下层土体的开挖对上层土体的变形影响很大,使土钉墙产生很大的位移,但上层几排土钉的受力没有随位移的增加而增加,说明上层几排土钉的摩阻力已达极限值(见图4)。由于上层土钉的抗拔力很小,不能有效约束上层土体的进一步变形,导致基坑产生较大水平位移。

2) 上层土钉的受力是中间大两端小(见图4),下层土钉受力为坡面大孔底处小(见图5)。

3) 土钉墙背后的侧向土压力沿深度分布是中间大,上下小(见图6)。但从量值上看,第2、3排土钉拉力偏小(与土体的抗剪强度、施工质量、注浆工艺等有关),而第5排土钉拉

力只比第 6 排土钉大 3%, 这主要与土钉墙中部加了两排预应力土钉有关, 土钉墙中部的侧土压力大部分由预应力土钉承担。

5 体 会

通过现场测试和分析, 有如下体会:

1) 土钉墙最大位移在基坑中上部, 越往下变形越小, 土钉墙体内的水平位移随离开墙面距离增加而减小。

2) 土钉沿长度方向受力是不均匀的, 土钉两端的拉力较小, 中部拉力较大, 最大拉力发生在钉长中部。

3) 在软弱土层(如软塑土)采用土钉支护技术, 若基坑周边紧靠地下管线、建筑物等而要求严格控制基坑水平位移时, 可考虑先开挖基坑, 并在土钉墙施工完成且达到设计强度后, 再施工工程桩(挖孔桩), 这对控制基坑变形有好处。若在喷锚支护施工中期开挖挖孔桩, 在挖孔桩紧靠基坑边施工的情况下, 可能会因基坑内侧支护土体掏空、流失而产生较大侧移(尤其当地下水丰富时), 再加上基坑开挖时增加的位移, 使总位移可能超过允许值, 危

及地下管线和建筑物的安全。

4) 在软弱土层(如软塑土)及孔隙比较大的粉土层中采用土钉支护时, 由于土的抗剪强度较低, 对土钉只采用一次注浆工艺可能会使土钉界面粘结强度达不到设计要求, 因此, 宜采用二次压力注浆工艺, 保证土钉孔充满水泥浆并使部分水泥浆充填土体的裂隙和孔隙, 增加土钉的抗拔力。

5) 在软弱土层(如软塑土)及孔隙比较大的土层中采用土钉支护时, 基坑土体每段开挖的横向长度尽可能短, 建议控制在 5~10 m, 开挖后及时支护, 尽可能减少坡面裸露时间, 严禁雨水浸泡; 土钉清孔时最好使用水泥浆, 保证土钉定位架高度, 并采取二次注浆工艺。

致谢: 本文得到广东省水利水电科学研究院总工程师杨光华博士审阅, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 GJB 02-98 广州地区建筑基坑支护技术规定
- 2 林宗元. 国内外岩土工程实例和实录选编. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992

收稿日期 2003-07-10

(上接第 298 页)

于试桩时, 不仅要考虑减去试桩上端的承载力, 而且要考虑减去桩下端的侧摩阻力。计算桩下端侧摩阻力时应考虑桩端土的强化效应, 以尽可能的真实反映桩下端的侧摩阻力, 确保浅桩的安全度。

3) 从本文的分析处理可以看出另一方面的问题, 即目前多数设计根据地质资料中的侧阻和端阻数据按地基土对桩的支承能力进行单桩竖向承载力设计值计算, 其计算结果与实

际试桩承载力结果误差往往很大。采用怎样的计算方法更能贴近实际很需要研究, 但在实际施工之前取得试桩结果并据此调整原桩基设计则是很必要的。同时要注意到满足强度的前提下, 还必须满足沉降控制标准。

参 考 文 献

- 1 DBJT 08-92-2000 先张法预应力混凝土管桩
- 2 DGJ 08-11-1999 地基基础设计规范

收稿日期 2003-05-12