

土钉支护工作性能的现场测试研究

Research on behaviors of soil nailing by field test

张明聚, 郭忠贤

(石家庄铁道学院 建筑工程系, 河北 石家庄 050043)

摘要: 拟进一步揭示土钉支护的作用机理, 为其在国内更广泛地应用提供较为科学的依据。通过对一个土钉支护基坑工程的水平位移和土钉拉力等力学参数的现场测试和分析, 较全面地研究其在施工阶段和使用阶段的工作性能。本文对土钉支护的工作性能有了更全面的认识, 对其设计和施工提出了有益的建议。

关键词: 基坑支护; 土钉支护; 现场测试

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2001)03-0319-05

作者简介: 张明聚, 男, 1962 年生, 博士, 副教授, 系主任。主要从事岩土工程科学技术研究、教学及工程实践。

ZHANG Ming-ju, GUO Zhong-xian

(Department of Building Construction, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Research in this paper is expected to further reveal the behaviors of soil nailing by field test, so as to provide scientific basis for its broad application. Some field tests, including measurements of horizontal displacement, nail force and et al., of a soil-nailed project are described and comprehensive analyses of the results are given. The behaviors of soil-nailed structures both in construction phase and in service phase are further investigated based on the measurements. Useful suggestions are proposed for its design and construction.

Key words: excavation retaining; soil nailing; field test

1 概 述^y

土钉支护作为一种经济可靠、快速简便的基坑支护技术, 已在我国深基坑开挖施工中得到越来越多的应用^[1,2]。但对它的工作机理的研究还不够完善, 在国内仅有少量的现场测试数据^[3,4], 这对该技术的应用和发展非常不利。基坑的水平位移和土钉拉力等力学参数与岩土条件、基坑深度、分步开挖深度、支护参数、施工进度等诸多因素有关^[5]。本文通过一个较大规模的现场测试^[6], 总结给出它们在施工全过程中的一些变化规律, 以期对研究土钉支护的作用机理、改进其设计与施工有所指导与帮助。

2 工程概况与岩土条件

珠江新城 E2 区商住楼位于广州珠江新城西北部, 建筑设计采取周边式组合平面布局, 8 栋住宅塔楼环绕中心花园呈半圆形布置。与建筑设计相应, 基坑的平面布置如图 1 所示, 最大基坑开挖深度为 9.2 m。

建筑场地地貌单元为冲积平原地带, 场地原为耕地, 大部分已填土整平, 相对高差为 1.25 m。地层自上而下的组成为: 第四系杂填土层(Q^{ml}), 层厚 0.3~0.9 m; 第四系耕植土层(Q^{pd}), 层厚 0.3~0.9 m; 第四系冲积层(Q^{al}), 层厚 2.20~5.50 m; 第四系残积层(Q^{el}), 0.90~1.70 m; 以下为白垩系沉积岩(K)。

在 A-A 断面, 粉质粘土层底深度约为 7.8 m, 以下

为风化岩。在 B-B 断面, 粉质粘土层底深达 11.3 m, 以下才为风化岩。因此, 基坑开挖主要涉及的土层为粉质粘土和强风化岩, 其物理力学性质如表 1 所示。

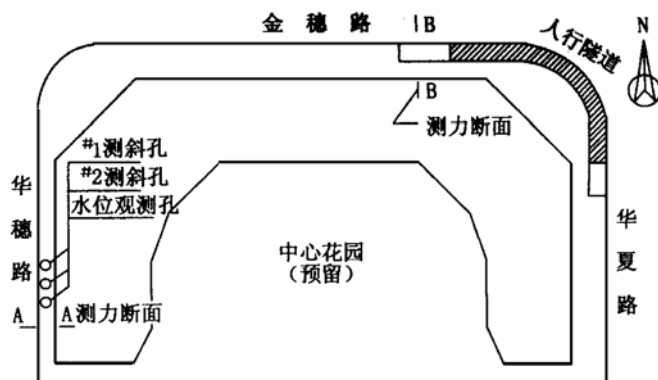


图 1 基坑平面布置

Fig. 1 Plan of the foundation excavation

表 1 主要土层物理力学性质

Table 1 Physical and mechanical properties of subsoil

土层名称	w /%	e	I_L	a_{1-2} /MPa ⁻¹	E_s /MPa	c /kPa	φ /(°)	N
粉质粘土 Q^{al}	26.4	0.769	0.38	0.39	4.66	30.8	8.0	11.7
粉质粘土 Q^{el}	29.0	0.808	0.58	0.47	3.95	24.8	10.5	15.6
强风化岩 K	24.6	0.705	0.23	0.27	7.08	28.9	17.1	47.9

注: w 为含水量; e 为孔隙比; I_L 为液性指数; a_{1-2} 为压缩系数; E_s 为压缩模量; c 为凝聚力; φ 为内摩擦角; N 为标准贯入试验击数

^y 基金项目: 广州建筑科技基金资助项目(9801)

收稿日期: 2000-08-30

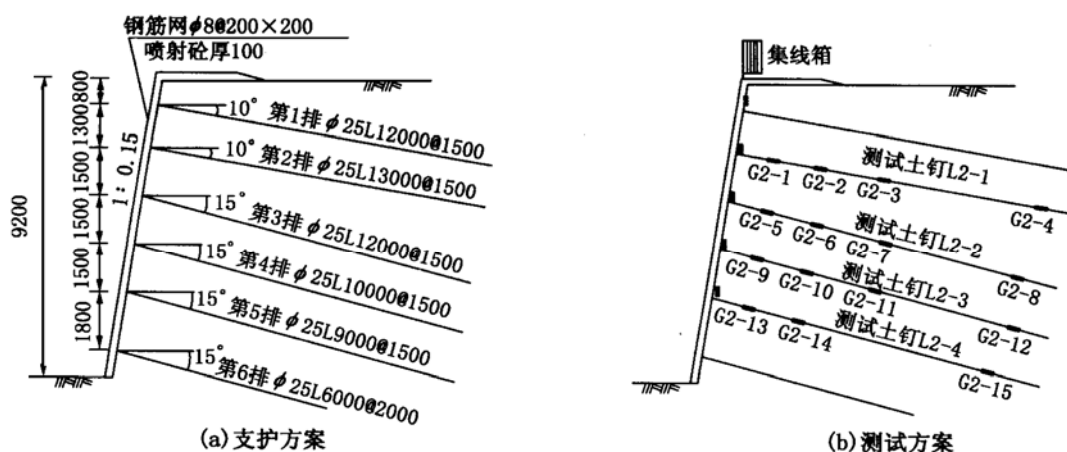


图2 基坑支护与测试方案

Fig. 2 Project of excavation retaining and field test

根据基坑周围的环境和场地情况, 基坑支护有放坡开挖和土钉支护两种形式。土钉支护设计钻孔直径为 130 mm, 孔内注浆采用水灰比为 0.5 的水泥净浆, 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 $\phi 16$ 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。

土钉支护分层分段开挖, 设置上部 3~4 排土钉用洛阳铲人工成孔, 下部用地质钻或锚杆钻机成孔。在施工中没有采取降水措施, 只是从上到下设置浅表排水管, 把面层背后的水排走。

3 现场测试方案

现场测试选定基坑东侧 A-A 断面和基坑南侧 B-B 断面。由于 B-B 断面基坑顶面有人行隧道, 没有设置水平位移测孔的位置, 故未做这项测试。A-A 断面的测试数据较为完整, 因此主要介绍 A-A 断面的测试情况及结果, 该断面位于基坑西区西侧, 土钉支护的几何参数如图 2(a) 所示。在测试段布置 2 个测斜孔 (见图 1)。

测斜孔钻孔直径为 $\phi 110$, 孔深 14 m, 测斜管采用内径 43 mm、外径 53 mm、壁厚 5 mm 的 PVC 硬塑料管。设置测斜管时, 用水泥、砂子或细石填满钻孔和测斜管之间的缝隙, 使测斜管与土体粘结牢固, 一旦土体产生位移, 带动测斜管一起移动, 使测斜管的变形能够反映土体的实际位移。

测斜孔孔深约为基坑深度的 1.5 倍, 由于场区地层在 9 m 左右时, 已到风化岩层, 测斜孔的入岩深度达 5 m 左右, 可认为测斜管已深入到变形影响深度以下。

测试土钉拉力的传感器布置方案如图 2(b) 所示, 测量导线从各测点引出, 并沿着边坡坡面汇集到坡顶

的集线箱内。土钉的中前部钢筋计布置得较密, 后部布置得较疏, 以便能够测到土钉拉力的最大值和土钉端部的受力情况, 较真实地反映土钉拉力的实际分布。

基坑水平位移测试采用英国的 GIMK4 测斜仪, 该仪器能自动记录并存储测试数据, 还可与计算机连接, 显示和输出测试结果。测试土钉拉力为 GJL-2 型钢弦式钢筋计, 测试仪器为 GPC-1 型钢弦频率测定仪。钢筋计连杆的直径为 25 mm。

钢弦式钢筋计由传感器、连杆、导线和插头等部分组成。安装过程为: 按设计要求切断土钉筋体, 将连杆与主筋焊接在一起, 通过螺丝将传感器与连杆联结, 沿筋体引出并固定好导线, 作好防水处理, 测取初读数。一根测试土钉布置 3~5 个测点, 需截成 4~6 段, 然后再焊接在一起。制作时, 要保证接头的焊接质量, 使其强度不低于母材, 还要保证每段钢筋的顺直度, 使组装后整条钢筋顺直。为了测得土钉的等效拉力, 在传感器范围内用水泥袋和胶带纸包裹, 直径约 10 cm, 以削弱注浆体的断面, 使该断面首先产生裂缝, 土钉受到的拉力就全部传到了钢筋计上。

土钉拉力的测试工作结合施工同步进行, 基坑开挖与测试土钉设置的进度如图 3 所示。

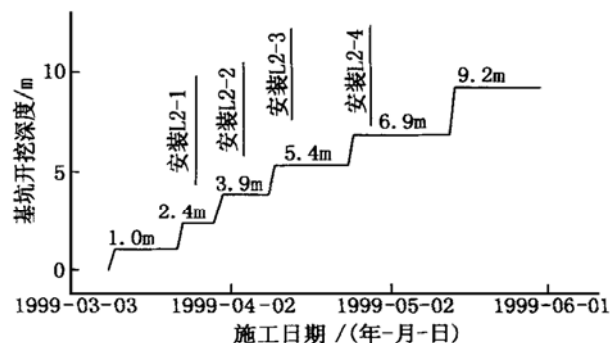


图3 基坑开挖与测试土钉设置进度图

Fig. 3 Programme of excavation and installation of test nails

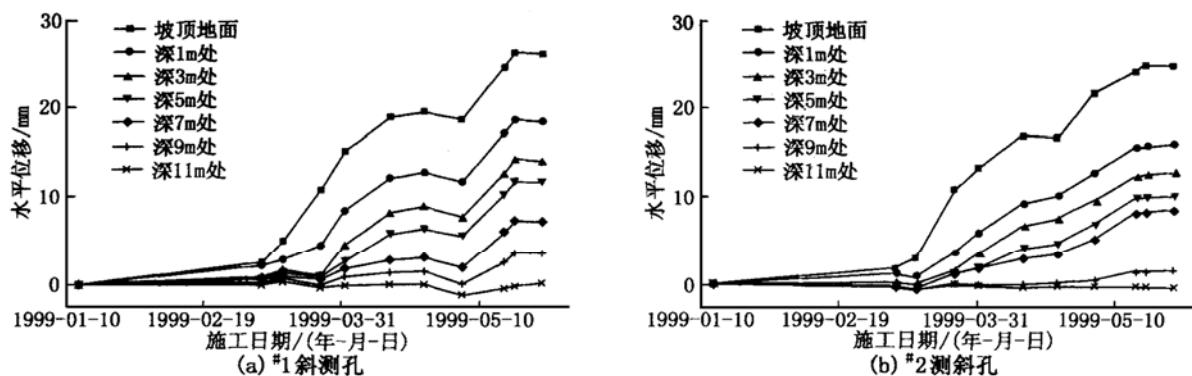


图4 边坡内水平位移日程曲线

Fig. 4 Development of horizontal deflection

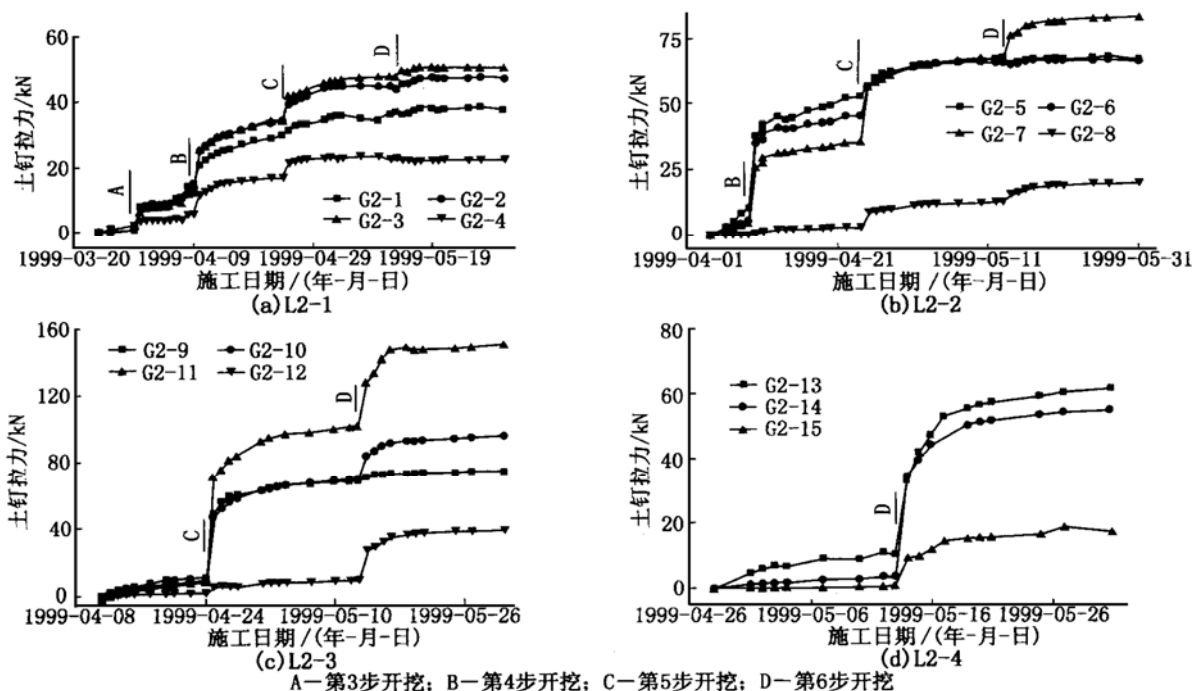


图5 土钉拉力日程曲线

Fig. 5 Development of nail tension

4 主要测试结果及分析

4.1 水平位移

为测得水平位移的零点, 测斜孔在基坑开挖前就预先布置好, 并测得初始值。施工中每开挖一步都进行一次测量, 测得2个测斜孔处不同深度的水平位移, 随施工日期的变化情况如图4所示。沿深度各点的水平位移随施工日期的延续而增加, 基坑开挖完成后逐渐趋于稳定; 位移在基坑顶面最大, 随深度的增加逐渐减小, 开挖面以下的土体也会受到影响而发生较小位移; 最大水平位移与基坑深度的比值为2.8‰, 未超过现有的一般实测数据3‰^[1]。

4.2 土钉拉力

在施工阶段, 测得的A-A断面4根土钉中各测

点的拉力日程曲线(图5)。基坑开挖完成后, 开始进行工程桩的施工, 基坑支护边坡进入使用阶段, 继续对土钉的受力情况进行监测, 把使用阶段测得的数值与基坑开挖完成后相对稳定的测试值相减, 得到各测点土钉拉力的增加(损失)值(图6)。

由图5, 6可见: 土钉支护的受力随施工日期的延续而变化。在施工阶段, 土钉从被置入边坡土中开始所受的拉力每天都有增加, 下层土体开挖对已设置的所有上层土钉的受力均有较大影响, 各层土钉的拉力均有突变增量, 即土钉的受力具有开挖效应。在使用阶段, 受力总体上趋于稳定, 但还是有一定的增加趋势, 尤其是下排土钉拉力增加的趋势较为明显。

土钉的开挖效应要求一排土钉设置后应停留一段时间, 或使用早强剂, 使注浆体达到一定强度并与周围土体粘结牢固后, 再进行下步开挖, 这样不但使土钉的

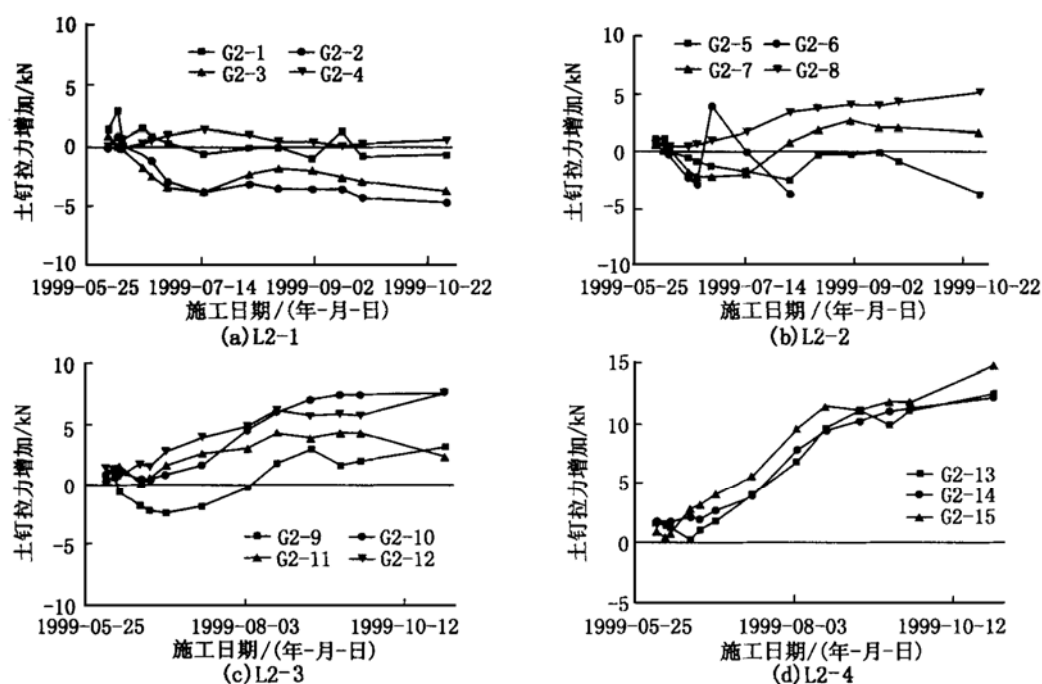


图6 土钉拉力增加(损失)的日程曲线

Fig. 6 Increase or decrease of nail tension

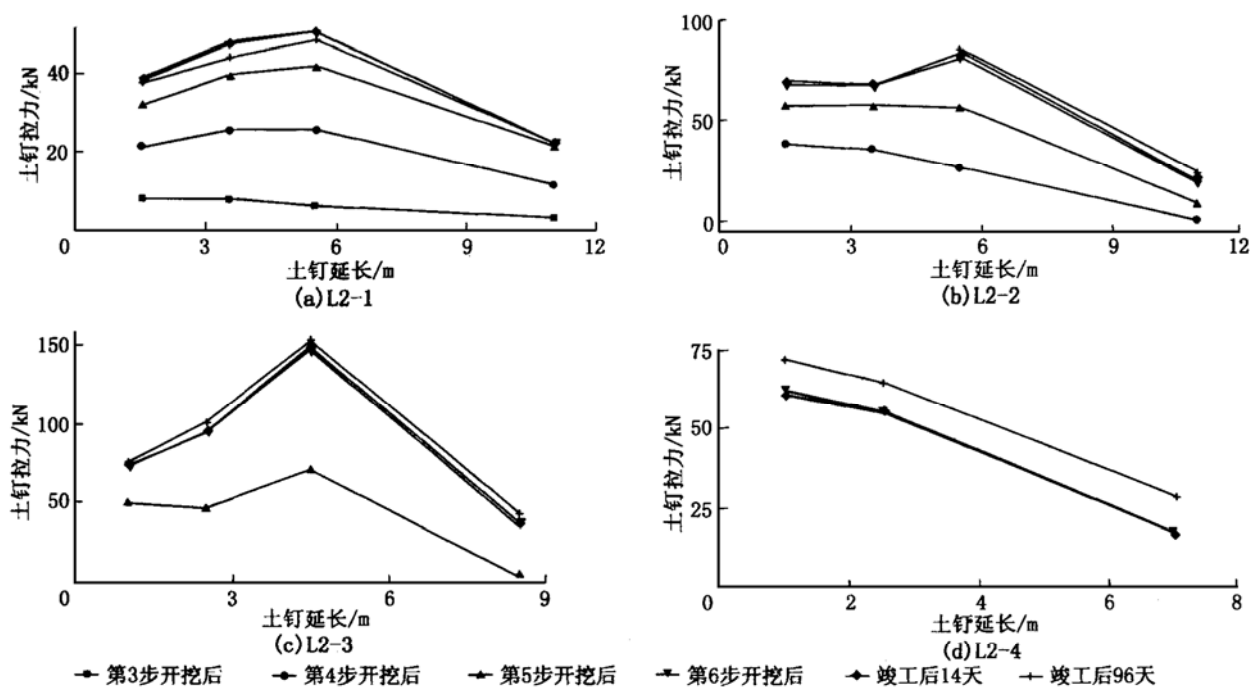


图7 土钉拉力沿土钉延长的分布

Fig. 7 Distribution of nail tensions

作用得以充分发挥,而且保证土钉支护边坡具有良好工作性能,并处于稳定状态。

每根土钉的拉力分布情况如图7所示。土钉中拉力沿土钉延长呈中间大、两端小的曲线分布,上排土钉位于土质均匀的土层中,分布曲线较为均匀光滑,下排土钉位于土质软硬不均的土层中,分布曲线不光滑。

由上所述,土钉支护的受力和变形都具有时间效

应。根据土力学的基本概念,土体是多相介质,基坑开挖卸载引起的超静孔压的消散与时间有关,而土骨架又有蠕变性,这些因素都使得基坑开挖后土体应力与变形具有时间效应,而土钉拉力和边坡水平位移的变化是由土体应力与变形引起的,因此土钉支护的受力和变形同样也有时间效应。所以土钉支护分层开挖后土钉的设置愈快愈好,及时约束土体的变形。

4.3 土钉最大拉力及其作用位置

土钉最大拉力沿基坑深度的分布如图8所示。土钉最大拉力出现在基坑的中部, 上部和下部土钉的受力均较小。而最大水平位移发生在坡顶, 随基坑深度的增加而减少。因此, 土钉受力并不是与水平位移大小成正比, 而与基坑边坡潜在的滑动趋势有关。

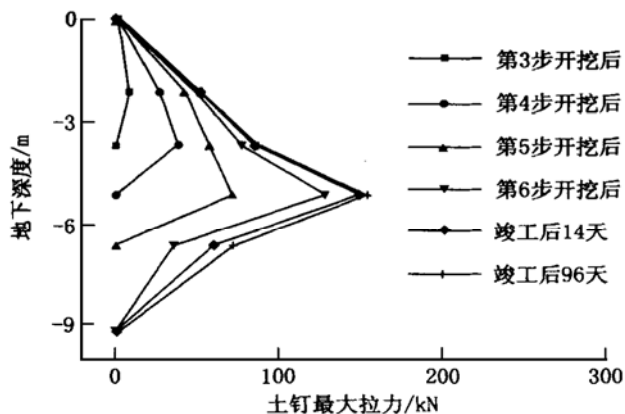


图8 土钉最大拉力沿深度的分布

Fig. 8 Distribution of maximum nail tensions

土钉最大拉力作用位置如图9所示。B-B断面土质较为均匀, 从定性上分析, B-B断面最大拉力作用点连线两端分别向上向下延伸后, 与最危险滑动面较为接近或相似。

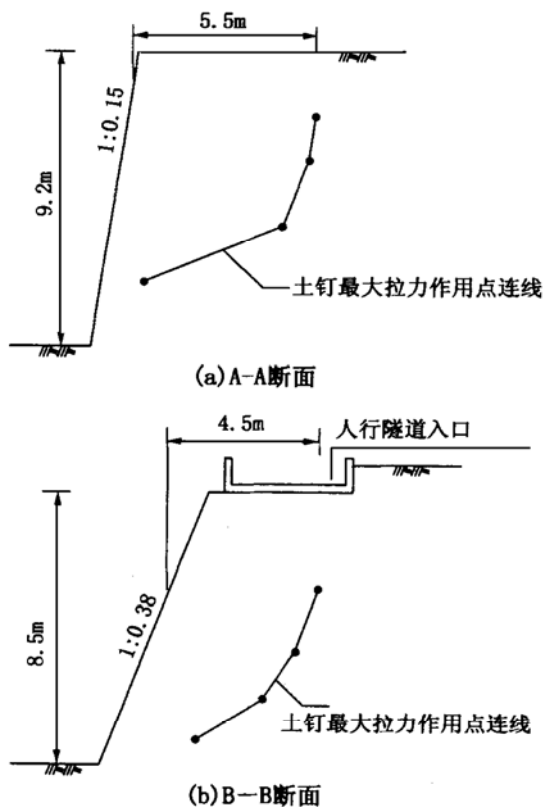


图9 土钉最大拉力作用位置

Fig. 9 Location of maximum nail tensions

A-A断面最大拉力作用点连线的底端延伸线不通过坡脚, 而通过第5排土钉端部附近, 是由现场不均匀的岩土条件所造成的。因为在这一深度以下, 土体为风化岩层, 土质较为坚硬。由此可知, 滑动面通过坡脚的假定并不适用于土层性质差别较大的情形。

5 结 论

通过上述现场测试和分析, 对土钉支护的工作性能有了更全面的认识, 主要研究结论有:

(1) 水平位移随施工日期的延续而增加, 基坑开挖完成后逐渐趋于稳定, 位移在基坑顶面最大, 随深度的增加逐渐减小, 开挖面以下的土体也会受到影响而发生较小位移。

(2) 在施工阶段, 土钉一安装, 土钉拉力就以缓慢的速率逐渐增加, 开挖施工使土钉拉力产生突变。在使用阶段, 土钉拉力既有损失现象, 也有增加现象。土钉拉力沿土钉延长呈曲线分布, 最大拉力出现在中部, 在两侧逐步递减。最大拉力在基坑的中部最大, 上、下部土钉受力较小。土钉受力并不是与水平位移大小成正比, 而与基坑边坡潜在的滑动趋势有关。

(3) 土钉最大拉力作用点连线两端分别向上向下延伸后, 与最危险滑动面较为接近或相似, 但滑动面通过坡脚的假定并不适用于土层性质差别较大的情形。

(4) 土钉的设置愈快愈好, 早设置早受力, 及时约束土体的变形, 减少开挖对土体的扰动影响。土钉设置后宜停留一段时间, 或使用早强剂, 使注浆体达到一定强度并与周围土体粘结牢固后, 再进行下步开挖。

本文的研究工作得到陈肇元院士和宋二祥教授的指导, 在此表示深切的感谢!

参考文献:

- [1] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 1~ 78.
- [2] 李元亮, 李 林, 曾宪明. 上海紫都C楼基坑喷锚网(土钉)支护变形控制与稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(1): 77~ 81.
- [3] 胡建林, 钟映东. 深基坑土钉支护技术[J]. 建筑施工, 1997, 19(4): 13~ 14.
- [4] 张 鑫, 宋二祥. 土钉支护技术现场测试及有限元分析[J]. 工业建筑, 1997, 27(11): 14~ 17.
- [5] Smith I M, Su N. Three-dimensional FE analysis of a nailed soil wall curved in plan[J]. Int J Numer Anal Meth Geomech, 1997, 21: 583~ 597.
- [6] 张明聚. 土钉支护工作性能的研究[D]. 北京: 清华大学, 2000.