

复合土钉支护在近接高速公路基坑工程中的应用

张明聚, 张文宇, 杜修力, 李凤伟

(北京工业大学 城市与工程安全减灾省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

摘要: 复合土钉支护结构可以减小基坑变形, 防止紧邻道路、管线、建(构)筑物产生较大变形。给出土钉与锚杆、微型桩复合支护在近接高速公路基坑工程中应用实例, 阐述该工程的设计、施工、监测技术要点。考虑高速公路汽车荷载计算了不同工况的基坑稳定安全系数, 给出变形控制标准及控制措施。针对碎石和填土分层交替填筑、软硬不均地层, 采用套管跟进进行钻孔, 有效克服了卡钻现象。监测表明, 基坑顶部高速公路路面最大水平位移控制在10 mm以内, 满足控制标准的要求; 锚杆支护是控制水平位移的有效措施。

关键词: 锚杆; 土钉; 微型桩; 基坑工程; 近接施工

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2009)02-0174-05

复合土钉支护是在土钉支护基础上发展起来的新型基坑支护结构, 将土钉与搅拌桩、旋喷桩、微型桩及预应力锚杆等结合起来, 形成多种型式的复合支护结构, 主要有4种类型: 1)土钉与预应力锚杆组合; 2)土钉与止水帷幕、预应力锚杆组合; 3)土钉与微型桩、预应力锚杆组合; 4)土钉与止水帷幕、微型桩、预应力锚杆组合^[1-2]。复合土钉支护弥补了土钉支护的许多缺陷和限制, 获得了愈来愈广泛的工程应用^[3-4]。目前的研究工作集中在各种辅助措施的力学作用分析及设计、变形规律及控制等方面^[5-7]。本研究拟给出土钉与锚杆、微型桩复合支护结构在近接高速公路基坑工程中应用实例, 阐述复合土钉支护设计、施工、监测技术要点。

1 工程概况及岩土工程条件

甬(宁波)台(州)温(州)铁路周岭特大桥2#墩位于浙江奉化市尚田镇孙家村、同三高速公路和34省道之间。该桥墩靠近同三高速公路一侧基础埋深11.2 m, 靠近34省道一侧基础埋深4.0 m。临同三高速路侧需开挖现有路基, 临34省道一侧需挖至防护栏, 如图1所示。场区内与基坑支护有关的地层分别

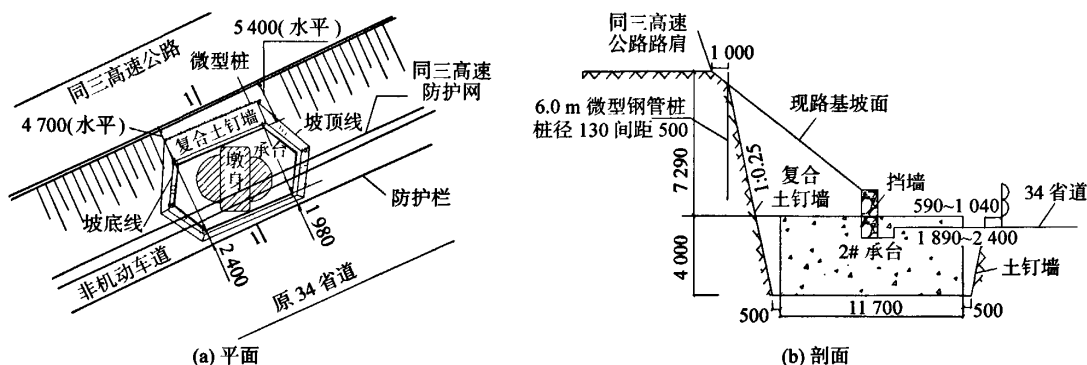


图1 基坑及其与高速公路的位置关系(单位:mm)

Fig.1 Location relation between excavated foundation and expressway (unit: mm)

收稿日期: 2008-03-17.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50678002); 北京市科技计划课题资助项目(Y060506000007022).

作者简介: 张明聚(1962—), 男, 河南南阳人, 教授.

为填土、新近沉积层和第四纪冲洪积层:

- 1) 填土层由碎石土填土构成, 厚度 7.0 m(高速公路边坡的填料情况没有勘察资料, 开挖前情况不明, 开挖后发现为黏土与碎石的混合物);
- 2) 黏质粉土、粉质黏土, 厚度 2.5~3.0 m;
- 3) 粉细砂层, 厚度 0.8~3.4 m.

高速公路路基边坡内没有地下水的附存条件, 路基以下的地层内可能有水, 但土的自立性较好, 故基坑支护不考虑地下水的影响.

2 基坑支护方案设计

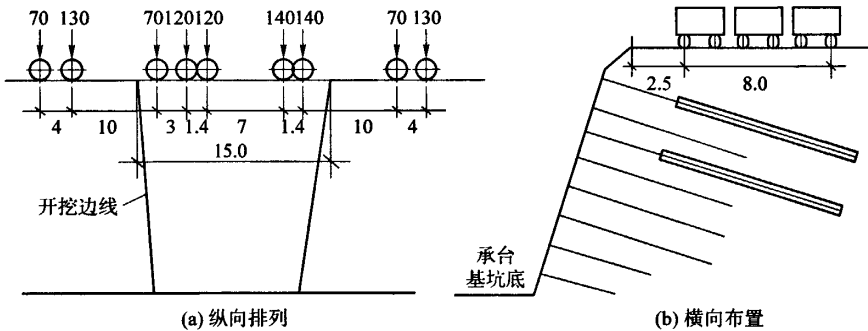
2.1 高速公路汽车荷载的计算

在基坑复合土钉支护范围内高速公路的超载按下式计算^[8]

$$q = \frac{\sum G}{Bl_0}$$

式中, B 为挡土墙的计算长度(m); l_0 为破坏棱体范围内的路基宽度部分; $\sum G$ 为布置在 $B \times l_0$ 面积内的车辆车轮总重力(kN).

根据基坑几何尺寸和路面宽度, 取 $B = 15.0$ m, $l_0 = 10.5$ m; 汽车荷载按荷载等级“汽车-超 20”进行排列, 纵向重车正好在基坑范围内, 横向按 3 辆车考虑, 如图 2 所示.



轴重力单位: kN 长度单位: m

图 2 汽车车队的布载

Fig.2 Plan layout of vehicle load

由图 2 知, $\sum G = 1650$ kN, 则 $q = 10.5$ kN/m². 取人群荷载为 3.5 kN/m², 再考虑汽车的动载影响以及车辆行驶的实际情况, 假设路面超载为条形均布荷载, 强度值 30.0 kN/m².

2.2 基坑支护方案及稳定安全系数

基坑支护设计以自然路面标高为基准, 基坑深度最深为 11.29 m, 采用土钉与锚杆、微型桩复合支护结构, 如图 3 所示.

坡顶设 1 排竖向微型桩, 桩水平间距 500 mm, 桩长 6 000 mm, 孔径为 130 mm, 放置 1 根直径 48 mm 的钢管, 桩孔灌注水灰比 1:0.5~1:0.6 的纯水泥浆, 钢管顶部用 2Φ20HRB335 钢筋焊接连接.

基坑边坡按 1:0.25 放坡, 设置 6 排土钉和 2 排预应力锚杆, 其中第 1 和第 3 排为预应力锚杆, 土钉均配 1Φ25HRB335 钢筋, 预应力锚杆均配 2Φ20HRB335 钢筋, 土钉、锚杆竖向间距均为 1.3 m, 水平间距均为 1.2 m, 倾角均为 10°, 土钉、锚杆成孔直径分别为 100 mm 和 130 mm, 灌注纯水泥浆, 水灰比 1:0.5 左右, 浆体设计强度为 M20, 采用 P.O 32.5 水泥, 一次常压注浆.

预应力锚杆设计荷载 200 kN, 锁定荷载 80 kN. 边坡上部 2.9 m 高范围内面层厚度为 0.12 m, 以下部分面层厚度为 0.1 m, 面层为设计强度 C20 的喷射混凝土, 钢筋网为 $\Phi 8@200$ HPB235 双向. 水平压筋采用 1 $\Phi 16$ HRB335 钢筋, 与土钉钢筋焊接.

采用稳定性分析方法对每步施工工况进行计算, 基坑侧壁重要性系数取 1.10, 土层物理力学参数如表 1 所示. 计算中不考虑锚杆的预应力, 按土钉对待; 也不考虑微型桩的作用. 计算获得的不同工况稳定安全系数如表 2 所示.

从表 2 可知, 基坑稳定安全系数随着基坑深度的增加而减小, 最小安全系数发生在第 9 步, 即基坑开挖到底的状态, 安全系数为 1.34, 满足规范规定的要求^[9].

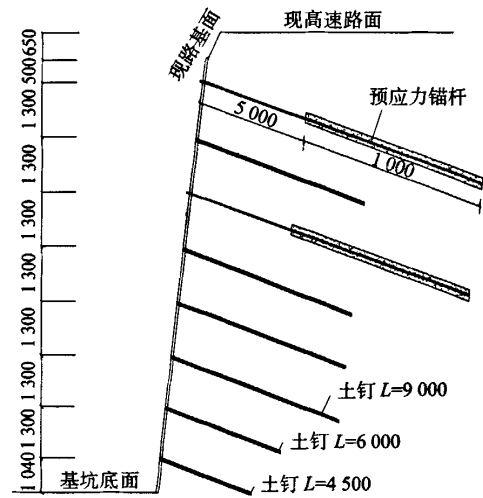


图 3 基坑支护方案(单位:mm)

Fig.3 Shoring plan of excavated foudation (unit: mm)

表 1 土层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of subsoil

土层	厚度/m	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	摩阻力标准值/kPa
填土层	7.20	22.00	13.00	22.00	80.00
黏质粉土、粉质黏土	6.00	20.00	20.00	20.00	70.00

表 2 不同工况稳定安全系数

Table 2 Stabilization safety factors of different engineering cases

计算步数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
开挖深度/m	2.75	4.05	5.35	6.65	7.20	7.95	9.25	10.55	11.20
已设土钉排数	1	2	3	4	5	5	6	7	8
安全系数	3.50	2.77	2.90	2.41	2.42	1.99	1.70	1.46	1.34

2.3 变形控制标准及措施

高速公路侧基坑顶面水平位移及沉降不超过控制标准, 根据已有的经验确定沉降和水平位移控制标准均为 10 mm^[9]. 目前相关规范还没有对基坑变形计算方法作出规定, 通常建议一些变形控制措施^[9]. 根据本工程的特点, 在基坑上部设置 2 排预应力锚杆, 限制基坑上部较大的变形; 沿开挖面设置微型桩, 抵抗侧向力的作用, 并限制每步开挖面短时间暴露时可能产生的变形; 在施工过程中, 加强监测, 若发现位移过大, 及时调整参数, 如增加土钉长度, 缩小土钉间距, 增设锚杆等.

3 复合土钉支护施工

基坑支开挖前, 先施作微型桩, 开挖土方至路面下 1.50 m, 进行第一排锚杆和喷混凝土施工; 以下每步开挖 1.30 m 土方至 11.29 m, 进行各层锚杆和土钉施工; 最后一步土方开挖至槽底(含人工清槽).

每层土方开挖留 0.30 m 左右的土钉施工工作面, 上层的喷射混凝土强度达 5 MPa 时开挖下层土方, 当挖下层土时不碰撞上层的喷射混凝土面层, 开挖线距坡面 0.2~0.3 m, 所余土方人工修坡完成; 土方开挖按设计规定的分层开挖深度(1.3 m)按作业顺序施工, 并与分层作业区的开挖相协调; 土钉支护按修整

后裸露边坡保持自立的时间限制分区分段施工, 水平方向分段长度一般取 5~8 m, 通常连续作业, 尽量缩短边坡土体的裸露时间。

根据设计要求确定孔位, 孔位误差不大于 100 mm, 孔径误差 + 20 mm、- 5 mm, 钻孔角度误差不大于 2°; 土钉、锚杆、微型桩采用机械干成孔, 孔深大于设计长度 0.3 m; 土钉、锚杆、微型桩钢筋或钢管每隔 2.0 m 焊有对中支架, 注浆采用 PO32.5 普硅水泥拌制的水灰比为 0.5~0.6 的纯水泥浆, 水泥浆随用随拌; 土钉、锚杆、微型桩从孔底向上注浆, 并在水泥初凝前补浆保证孔内注浆饱满。本工程是直接开挖同三高速公路路基边坡, 路基边坡由碎石和填土分层交替填筑而成, 软硬不均, 退钻过程中多次发生卡钻现象, 工效很低。后改用套管跟进进行钻孔, 工效大大提高, 工程得以顺利进行。

坡面钢筋网采用人工绑扎 $\Phi 8@200 \times 200$ mm, 控制误差 ± 10 mm, 土钉钢筋端头与网片用水平 $1 \Phi 16$ 钢筋焊接在一起; 喷射混凝土的强度等级为 C20, 喷射混凝土的水灰比为 0.45 左右, 原材料质量配比为水泥: 砂子: 石子 = 1: 2: 2。

4 施工监测

本工程监测包括靠近高速公路一侧基坑水平位移监测、锚杆拉力监测和土钉拉力监测, 如图 4 所示。在高速公路路肩附近设置 2 根 PVC 测斜管, 管外径 70 mm, 深度 14 m, 用 CX-1 型滑动式测斜仪测量。现场监测随着基坑开挖分步实施, 从 2007-01-25 至 2007-07-27, 历时 184 d。监测结果如图 5 所示。

通过现场监测, 测得的基坑顶面(高速公路路肩)最大水平位移在 10 mm 以内, 土钉内力和锚杆拉力均在强度允许值范围内。基坑开挖过程中, 锚杆表现出承载力大, 说明在锚杆和土钉复合支护形式中, 锚杆是主动受力体, 附近土钉受力的实测数据表明, 锚杆承受了大部分荷载, 对于约束基坑壁水平位移起到了关键性的作用, 也说明锚杆是预防和控制水平位移的有效措施。

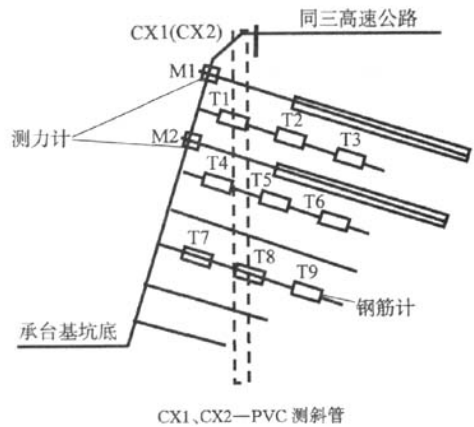


图 4 测点布置

Fig. 4 Plan layout of measurement

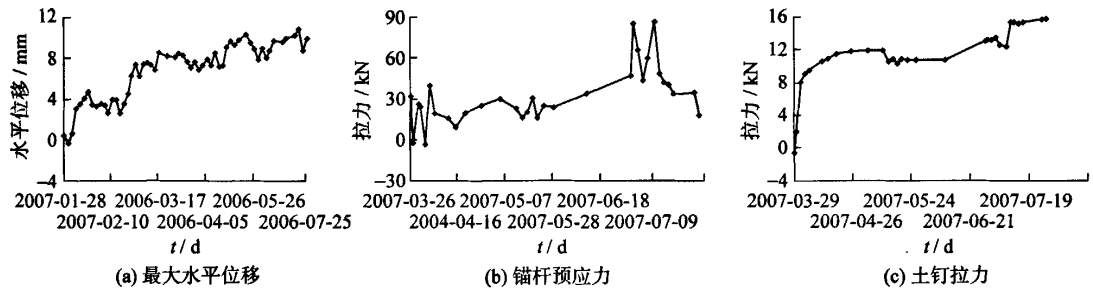


图 5 监控测量的时程曲线

Fig. 5 Time-dependent curve of monitoring measurement

5 结束语

本文给出了锚杆-土钉-微型桩复合支护技术在接近高速公路基坑工程中一个成功的应用实例。基坑设计方案考虑了高速公路汽车荷载的计算, 计算了不同工况的稳定安全系数, 给出了变形控制标准及控制

措施。给出该工程复合土钉支护施工技术要点,针对碎石和填土分层交替填筑、软硬不均地层,采用套管跟进进行钻孔,克服了卡钻现象。对水平位移、锚杆预应力、土钉拉力进行系统监测,测得的基坑顶面(高速公路路肩)最大水平位移在10 mm以内,土钉内力和锚杆拉力均在强度允许值范围内。监测还表明,在锚杆和土钉复合支护形式中,锚杆是主动受力体,对于约束基坑壁水平位移起到了关键性的作用,是预防和控制水平位移的有效措施。

参考文献:

- [1] ZHANG Ming-ju. Excavation retaining systems of soil nailing combined with other reinforcement measurements [C] // Proceedings of the International Conference on Soil Nailing & Stability of Soil and Rock Engineering. Singapore: CI-Premier Conference Organization, 2004: 245-254.
- [2] 杨志银, 张俊, 王凯旭. 复合土钉墙技术的研究及应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(2): 153-156.
YANG Zhi-yin, ZHANG Jun, WANG Kai-xu. Research and application of composite soil nailing walls[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(2): 153-156. (in Chinese)
- [3] 龚晓南, 宋二祥, 郭红仙. 基坑工程实例2[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 30-35.
- [4] 李亮辉, 曹笑颀. 复合土钉墙在复杂地层条件下的应用[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(增刊): 608-611.
LI Liang-hui, CAO Xiao-pin. Application of composite soil nailing walls under condition of complex strata. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(supplement): 608-611. (in Chinese)
- [5] 杨茜, 张明聚, 孙铁成. 复合土钉支护面层分析设计方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(7): 1259-1266.
YANG Qian, ZHANG Ming-ju, SUN Tie-cheng. A method for facing design of composite soil nailing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(7): 1259-1266. (in Chinese)
- [6] 杨茜, 张明聚, 孙铁成. 软弱土层复合土钉支护试验研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(5): 1401-1408.
YANG Qian, ZHANG Ming-ju, SUN Tie-cheng. Study on composite soil nailing in soft subsoil by model test[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(5): 1401-1408. (in Chinese)
- [7] 张尚根. 复合土钉墙变形分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(增刊): 243-246.
ZHANG Shang-gen. Analysis of deformation for composite cement-soil nailing walls[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(supplement): 243-246. (in Chinese)
- [8] 中文公路规划设计院. JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] 中国建筑科学研究院. JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

Application of a Composite Soil Nailing System in Excavation Engineering Close to an Expressway

ZHANG Ming-ju, ZHANG Wen-yu, DU Xiu-li, LI Feng-wei

(The Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The composite soil nailing systems are considered to be effective to reduce deflections of excavations, so that they can be applied to the excavated cases which are close to roads, pipes, and structures where surrounding strata movements are not permitted. A case of application of the composite retaining structure of soil nails, anchors and micro-piles in excavation engineering close to an expressway, was demonstrated. The technical essentials of design, construction, and field measurement of the engineering were expounded in considerable detail. The stability analysis was carried out based on different engineering cases considering load distribution of expressway automobiles and the deflection control standards and measures were drawn up. The anchor hole was bored by pushing jacket tube to prevent drill bit from being withheld in the uneven distributed subsoil which consisted of gravel and clay filling to be filled layer by layer. The measured data shows that the maximum horizontal displacement of the expressway pavement on the excavation top is limited to the value less than 10 mm and meets the requirements of deflection control standard, and the pre-stressed anchors are effective measures to control the horizontal displacements.

Key words: anchor; soil nailing; micro-pile; excavation; excavating close to structures

(责任编辑 张 蕾)