

DOI: 10.11779/CJGE2015S2009

全套管灌注桩在临近地铁隧道的暗桥桩基工程中的应用

庄妍^{1,2}, 牟凡^{1,2}, 崔晓艳^{1,2}, 张海霞^{1,2}

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘 要: 全套管灌注桩在施工过程中具有无孔壁坍塌、断桩和缩径风险, 对周边建筑物地基扰动小等优点, 近年来广泛应用于桩基施工中。某快速公交一号线暗桥桩基工程中使用该桩, 以避免桩基施工过程中对临近的地铁隧道造成影响。详细介绍了该工程的地质概况、全套管灌注桩的施工工艺、以及施工过程中的要点难点, 并在距离地铁盾构边线 1.5 m 和 2.0 m 的地方布置测斜孔, 以测量全套管灌注桩施工引起地铁隧道附近地基土体的水平位移。现场监测结果表明: 离地铁盾构边线最近的测斜点累计水平位移的最大值为 24.3 mm, 没有达到累计报警值(30 mm)。由此可见: 全套管灌注桩的施工能有效避免对周围建筑物的扰动。

关键词: 全套管灌注桩; 现场监测; 隧道工程; 施工工艺

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2015)S2-0041-05

作者简介: 庄妍(1982-), 女, 江苏邳州人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事软土地基加固。E-mail: Joanna_zhuang@163.com。

Application of Benoto pile in concealed bridge piled project near subway

ZHUANG Yan^{1,2}, MU Fan^{1,2}, CUI Xiao-yan^{1,2}, ZHANG Hai-xia^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The Benoto pile has been widely used in the piled foundation due to its advantages of no risks of breakage and reduction for piles, no collapse for holes and small disturbance to the surrounding buildings. The rapid public transport line No. 1 in Nanjing adopts this kind of pile. The site conditions, construction technology of the Benoto pile and difficult and important procedures for its construction are reported. The inclinometer holes located near the subway with the distance of 1.5~2.0 m to measure the horizontal deformation are driven, and the effect of the construction of Benoto pile on the horizontal deformation of foundation soils near the subway is analyzed. The measurements show that the maximum lateral deformation is 24.3 mm for the test section located near the subway with the distance of 1.5 m, which is less than the cumulative alarm value of 30 mm. Hence, it can be concluded that the construction of Benoto pile can effectively avoid the disturbance to its surrounding buildings.

Key words: Benoto pile; field monitoring; tunnelling engineering; construction technology

0 引 言

桩的应用迄今至少已有 12000~14000 a 的历史, 人类应用木桩经历了漫长的历史时期, 直到 19 世纪后期, 钢、水泥、混凝土和钢筋混凝土相继问世。在 20 世纪 70 年代, 木桩的使用才逐渐被以钢筋、水泥、混凝土为材料的桩所代替。随着机械设备的不断发展, 出现了各种桩型和工法^[1-2]。根据桩的施工类型可以把桩分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩 3 大类^[3]。

目前在高、重结构的基础形式中, 特别是陆地上的建筑工程及桥梁工程当中, 钻孔灌注桩已经成为最常见的桩型之一。然而传统钻孔灌注桩具有如下缺点: ①桩的质量不易控制和保证, 容易在灌注混凝土的过

程中, 出现断桩、缩颈、露筋和泥夹层的现象; ②桩身直径变化较大, 孔底沉积物不易清除干净, 故单桩的承载能力变化较大。大直径全套管灌注桩(如图 1)属于非挤土桩, 又叫贝诺特(Benoto)灌注桩。它的施工工法为全套管施工法, 该桩具有全孔套管护壁, 无孔壁坍塌、断桩和缩径风险, 对周边建筑物地基无扰动等优点。

对于接近地铁隧道的桩基施工对隧道影响严重,

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014B04914); 国家自然科学基金面上项目(51478166); 堤坝工程安全与减灾学科创新引智基地 111 项目(B13024)

收稿日期: 2015-03-26

而地铁隧道对变形要求又极高^[4]。黄志忠等^[5-7]根据实际工程进行了大量的研究。丁竞炜^[8]阐述了桥梁桩基与盾构隧道最小净距为 3.42 m 时,利用深护筒钻孔灌注桩技术能有效控制隧道变形。薛武强等^[9]根据实际工程研究得出钢套管对隧道的影响随着套管打入深度的增加而减小,水平位移主要发生在隧道所在深度处。因此,对全套管灌注桩施工过程的现场监测分析工作是非常重要的一个环节,实测数据可以判别全套管灌注桩施工是否对周围建筑物等造成影响。

本文主要介绍了南京某快速公交一号线暗桥桩基工程的地质概况,使用全套管灌注桩施工的原因,全套管灌注桩的施工工艺,在施工过程中关于管内翻砂和扩孔的具体处理方法及施工过程中重要注意事项。由于该暗桥桩基工程临近已有的地铁隧道(净间距约为 5 m),在地铁隧道 1.5~2.0 m 处布置水平位移观测点,研究全套管灌注桩的施工对周围建筑物的影响。



图 1 全套管灌注桩
Fig. 1 Benoto Pile

1 工程简介

1.1 工程概况

南京市某快速公交工程一号线工程全长 7756 m, 全线设站 13 座,是南京市迎接 2014 年青奥会的重点建设项目。本工程内容:快速公交工程一号线 DK1+521.5—DK1+669.5 范围内,在既有地铁盾构区间隧道上方段的暗桥桩基工程,如图 2 所示。由于快速公交对沉降的要求比较高(最大沉降值不能超过 15 mm)^[10],同时避免快速公交荷载对地铁隧道的不利影响,因而在与地铁隧道交叉的地段以桩板梁结构跨越。其中桩基础采用钻孔灌注桩,桩径 1.2 m,桩长 55 m,总共 16 根,由于钻孔灌注桩与地铁隧道净距仅约为 5 m,钻孔灌注桩施工对既有地铁隧道的影响会比较大,故使用套管护壁的有效施工方法以减小对

地铁隧道的影响。桩的布置和监测点布置如图 3 所示。



图 2 快速公交一号线暗桥段位置图
Fig. 2 Location of concealed bridge for rapid public transport Line No. 1

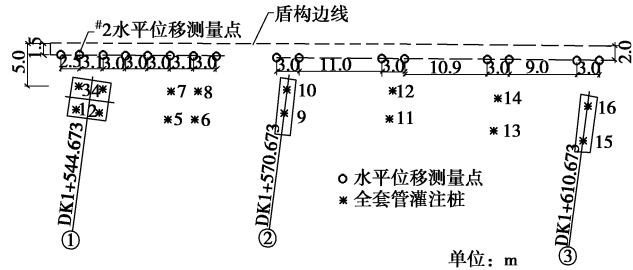


图 3 快速公交一号线暗桥段桩的布置和监测布置图
Fig. 3 Layout of piles and monitoring locations

1.2 工程地质条件

本工程靠近地铁隧道,全线地质自上而下分别为淤泥质粉质黏土、粉细砂、卵砾石(如图 4 所示)。卵砾石的下方为风化泥岩,棕红色,组织结构已大部分破坏,矿物质成分已发生变化,含大量黏土矿物,岩层风化裂隙发育,岩心破碎,浸水易软化,厚度:0.8~6.5 m,平均 3.81 m。软土层各土层物理力学参数如表 1 所示。

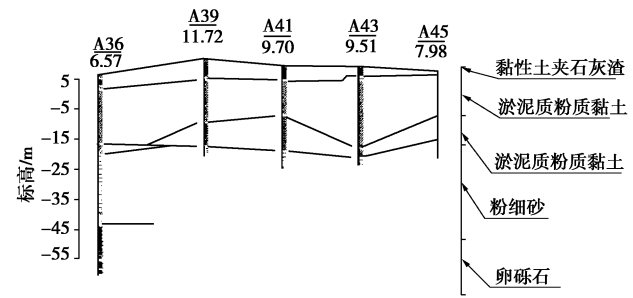


图 4 试验段土层分布纵断面图
Fig. 4 Section for distribution of foundation soils

2 施工方案

2.1 施工工艺

全套管灌注桩施工时,利用摇动装置的摇动或者

表 1 土层参数

Table 1 Parameters of soil properties for test section

编号	土层名称	土层厚度 <i>h</i> /m	干重度 <i>γ</i> /(kN·m ⁻³)	孔隙比 <i>e</i>	黏聚力 <i>c</i> /kPa	内摩擦角 <i>φ</i> /(°)	压缩模量 <i>E_s</i> /MPa
1-1	黏性土夹石灰渣	1~5	14.9	0.8	26.0	15.7	6.14
2-1	淤泥质粉质黏土	12~18	12.5	1.1	9.5	12.5	3.47
2-2	淤泥质粉质黏土	2~10	14.9	0.8	9.6	28.7	10.88
3-1	粉细砂	23~30	15.0	0.7	8.1	30.1	11.22

回旋装置的回旋,使钢套管与土层间的摩阻大大减小,边摇动(或边回旋)边压入,同时利用冲抓斗挖掘取土,直到套管到达桩端持力层为止。挖掘完毕后立即进行挖掘深度的测定,并确认桩端持力层,然后清除虚土。成孔后将钢筋笼放入,接着将导管竖立在钻孔中心,最后灌注混凝土成桩。

全套管灌注桩施工的关键在于套管的钻进,安装套管和将套管压入至设计标高。为节约施工成本,在施工前需对钢套管进行优化设计,旋压套管拟采用履带吊配合分段焊接下沉的施工方法,套管旋入设计深度 30 m,套管旋压机械施工平台高度为 3 m,即套管总长度为 33 m,套管采用壁厚 25 mm 材质 Q345B 低合金钢板加工拼接而成。套管设计时以钢管底部焊上 16 把刀头,当采用套管旋压进入土体时,套管将顶部驱动设备提供的扭矩和压入力传递给刀头,刀头切削管内土体。全套管灌注桩的施工工艺如图 5 所示。

为理想的水位平衡状态,不会发生里外渗水翻砂现象。通常钻孔作业不断地进行,孔内水位将急剧减少,就会出现翻砂和扩孔现象。为避免出现翻砂和扩孔现象,采用补加静水压的办法,使孔内的水位不出现负值,保证正水位的最小经验值在 2 m 以上,使套管中内有足够的静水压,这样很好地制止了翻砂和扩孔现象,成功解决了套管施工法在含地下水砂质土中的施工问题。

(2) 桩身垂直度的控制

首先检查和校正单节套管的顺直度,然后将按照桩长配置的套管全部连接起来进行整根套管的顺直检查,要求顺直度偏差小于 10 mm。一般可以通过在地面上侧放出两条相互平行的直线,将套管置于两条直线之间然后用线锤和直尺进行检测。

埋设第一、第二节套管的垂直度,是决定桩孔垂直度的关键,在套管压入过程中,用经纬仪或测锤不断校核垂直度当套管垂直度。当套管垂直度相差不大时,同定下夹具,利用上夹具来调整垂直度;当套管垂直度相差较大时,一般应拔出来从新埋设,有时也可向前后左右移动一下钻机使之对中。

(3) 取土成孔

先压入第一节套管,压入深度约 3 m 左右,然后用抓斗从套管内取土,边抓土边下压套管。在这一过程中,应始终保持套管底口超前于取土面且深度不小于 2.5 m;第一节套管全部压入土中后检测成孔垂直度,如不合格则进行纠偏调整,合格后则安装第二节套管下压取土直到设计孔底标高。

(4) 吊放钢筋笼

钢筋混凝土桩,成孔至设计标高后,检查孔的深度、垂直度、清除孔底虚土,检查合格后吊放钢筋笼。

(5) 灌注混凝土

开始灌注混凝土时,应先灌入 2~3 m 混凝土将套管搓动后提升 20~30 cm,以检查机械上拔力是否满足要求。不能满足时,则应采用吊车辅助起吊。灌注过程中应确保混凝土高于套管端口不小于 2 m,防止上拔过快造成断桩事故。

(6) 拔管成桩

一边灌注混凝土一边拔管,应注意始终保持套管低于混凝土面 2.5 m 以上。

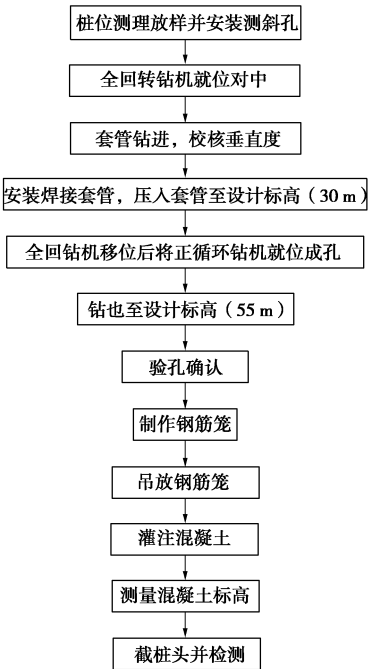


图 5 全套管灌注桩施工工艺

Fig. 5 Construction technology for Benoto pile

2.2 施工重点难点

(1) 施工过程中管内翻砂和扩孔的处理

在含地下水粉细砂层中使用全回转套管钻机施工灌注桩,按理论计算,地下水位与孔内的水位齐平时

3 监测结果分析

监测区共有 16 个测斜孔, 分别布置在距离盾构边线 1.5 m 和 2.0 m 范围内, 钻孔深度为 50 m, 用来监测全套管灌注桩施工时对地铁盾构附近土体所造成的影响。监测点水平位移累计报警值为 30 mm, 测斜孔布置如图 3 所示。监测时间从 2014/3/11—2014/3/26, 共 15 d。因#2 测斜孔距离地铁盾构边线最近 (1.5 m), 选取#2 测斜点作为分析依据 (如图 6 所示)。

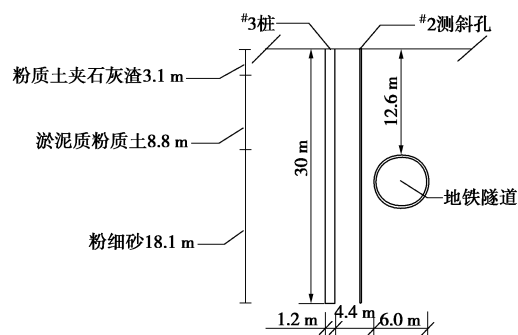


图 6 #2 水平位移监测点

Fig. 6 Layout of monitoring points

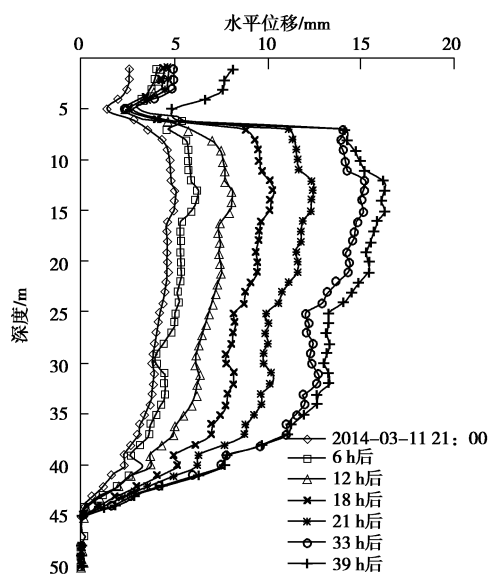


图 7 #2 点深层侧向水平位移

Fig. 7 Distribution of horizontal displacement of monitoring section

图 7 描述的是#2 测斜点在#3 桩套管压入到设计标高并取土期间, 距离盾构边线 1.5 m、距离地表 0~50 m 处的深层侧向水平位移随时间变化规律。该水平位移的方向与地铁盾构边线相垂直。从图 7 可以看出: 随着套管的钻进 (2014/3/11 21:00 开始至 39 h 后), 深层水平位移逐渐增大。距离地表 0~5 m 处的水平位移监测因大型机械施工震动会造成测量误差。在距离地表 5~15 m 处, 监测点水平位移随着深度的增加

而增大; 在距离地表 15~50 m 处, 深层水平位移随着深度的增加而减少, 说明压入套管和取土会对周围土体产生影响。监测点水平位移主要集中在距离地表 7~20 m 处, 而距离地表 12.6~18.6 m 处为地铁盾构所在区域, 说明套管旋入会对地铁隧道造成影响; 在距离地表 10~15 m 范围内测斜点水平位移最大, 约为 16.3 mm, 小于累计报警值 30 mm, 说明在全套管灌注桩在套管压入至设计标高并取土期间的施工, 对地铁隧道造成的影响不大。

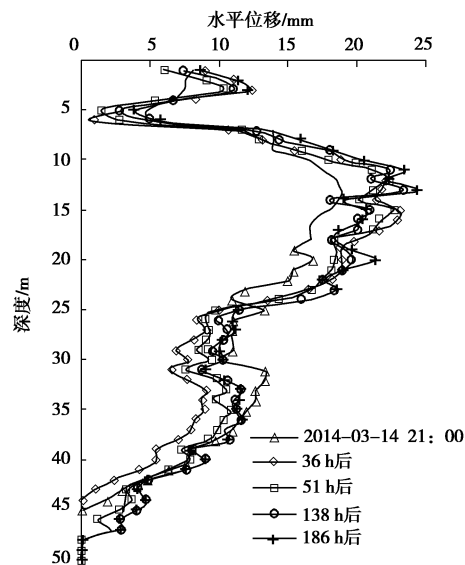


图 8 #2 点深层侧向水平位移

Fig. 8 Distribution of horizontal displacement of monitoring section

图 8 描述的是#2 测斜点在#3 桩管内放置钢筋笼和灌注混凝土期间, 距离盾构边线 1.5 m、距离地表 0~50 m 处的深层侧向水平位移随时间变化规律。同样, 该水平位移的方向与地铁盾构边线相垂直。从图 8 可以看出: 自 3 月 14 日 21:00 开始至 36 h 后, #2 测斜点距离地表 10~15 m 范围内的水平位移增加了约 5 mm; 由于连续布桩, 这段时间为#3 桩左侧#1 桩的套管压入到设计标高并取土施工段, 从而导致该处水平位移增加。自 3 月 14 日施工后 36~186 h 期间, 2 号测斜点水平位移增加了约 3 mm。结合图 7 和 8 可知: #3 桩的套管压入和取土施工阶段引起监测点最大水平位移为 16.3 mm, 是最终累积水平位移 (24.3 mm) 的 67.1%; 3 号桩相邻桩的套管压入和取土施工阶段, 使得监测点增加了约 20.6% 的最终累积水平位移。由此可以看出, 桩套管压至设计标高及取土的施工是全套管灌注桩引起周围建筑物水平位移的主要原因。而观测点的最大累计水平位移 (24.3 mm) 没有达到累计报警位移值 30 mm, 说明对地铁盾构边线没有造成不利影响。

4 结论与建议

通过对南京某快速公交一号线暗桥桩基工程的地质概况、全套管灌注桩的施工工艺, 施工重点、难点的介绍, 以及全套管灌注桩在施工工程中对附近已建地铁隧道的水平位移监测结果分析, 得出结论及建议如下:

(1) 全套管灌注桩压入套管、全回转钻机成孔和灌注混凝土的施工过程对距离地铁盾构边线 1.5 m 的测斜点造成的累计水平位移最大值为 24.3 mm, 没有超过报警值 30 mm, 说明全套管灌注桩施工不会对地铁盾构造成不利影响。

(2) 对于采用桩板梁结构施工时, 为了避免钻孔灌注桩施工对周围建筑物造成影响, 建议桩基础应采用全套管灌注桩的施工方法。

参考文献:

- [1] KODIKARA J, KONG K H, HAQUE A. Numerical evaluation of side resistance of tapered piles in mudstone[J]. *Géotechnique*, 2006, **56**(7): 505 - 510.
- [2] GHAZAVI M. Analysis of kinematic seismic response of tapered piles[J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2007, **25**(1): 37 - 44.
- [3] 罗骇先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. (LUO Hai-xian. *Pile foundation engineering inspection manual*[M]. Beijing: Peoples Communication Press, 2003. (in Chinese))
- [4] 张 超, 杨龙才, 黄大维, 等. 钢套管施工对地铁隧道影响分析及变形控制研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2013, **32**(增刊 2): 3584 - 3591. (ZHANG Chao, YANG Long-cai, HUANG Da-wei, et al. Effect of steel casing construction on metro tunnel and deformation control[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2013, **32**(S2): 3584 - 3591. (in Chinese))
- [5] 黄志忠. 近距离已运营地铁隧道桩基施工技术[J]. *广东土木与建筑*, 2010(12): 30 - 32. (HUANG Zhi-zhong. *Pile foundation construction technology for adjacent metro tunnels in operation*[J]. *Guangdong Architecture Civil Engineering*, 2010(12): 30 - 32. (in Chinese))
- [6] 张志强, 何 川. 地铁盾构隧道近接桩基的施工力学行为研究[J]. *铁道学报*, 2003, **25**(1): 92 - 95. (ZHANG Zhi-qiang, HE Chuan. Research on mechanics behavior of a shield tunnel construction in metro adjacent to existing pile foundation[J]. *Journal of the China Railway Society*, 2003, **25**(1): 92 - 95. (in Chinese))
- [7] 蒋 超. 盾构隧道近邻建筑物桩基的相互影响分析[J]. *交通科技*, 2011(1): 43 - 46. (JIANG Chao. Analysis of the interaction between the shield tunnel structure and the construction piles around the tunnel[J]. *Transportation Science and Technology*, 2011(1): 43 - 46. (in Chinese))
- [8] 丁竞炜. 地铁盾构隧道旁高架桥桩基施工控制技术[J]. *城市轨道交通研究*, 2009, **12**(4): 46 - 49. (DING Jingwei. Control of viaduct pile foundation constriction near metro shield tunnel[J]. *Urban Mass Transit*, 2009, **12**(4): 46 - 49. (in Chinese))
- [9] 薛武强, 孙九春. 紧邻地铁区间隧道的钻孔灌注桩施工技术[J]. *建筑施工*, 2011, **32**(4): 294 - 296. (XUE Wu-qiang, SUN Jiu-chun. Construction technology for bored pile adjacent to interval tunnel in subway[J]. *Building Construction*, 2011, **32**(4): 294 - 296. (in Chinese))
- [10] GB50308—2008 城市轨道交通工程测量规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (GB50308—2008 Code for urban rail transit engineering survey[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)