

综合管廊盾构隧道浅层切削建筑桩基群影响分析

钱磊

宁波市城市建设设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315000

摘要: 为研究软土地层中盾构浅层切削建筑桩基群对建筑结构的影响, 以某盾构管廊工程为背景, 采用三维有限元数值模拟分析, 研究建筑桩基群被切削后变形规律, 分析最不利状态下建筑桩基沉降位移, 得到可指导实际施工的安全影响范围。主要结论如下: 1) 切桩最不利情况下建筑局部相邻桩基沉降差超出规范限值, 盾构切桩穿越期间应进行腾空和封闭管理; 2) 影响范围以外结构可在短期内继续使用, 但需进行房屋安全鉴定; 3) 盾构切桩工艺复杂, 施工难度较大, 应做好充分准备, 控制盾构掘进参数, 确保安全施工。

关键词: 盾构综合管廊; 软土地基; 浅层切桩; 数值模拟; 施工参数

中图分类号: TU471.8

文献标识码: A

文章编号: 2024010117

Analysis Of The Influence Of Shallow Cutting On Building Pile Foundation Groups Inshield Comprehensive Pipe Corridor

Qian Lei

Ningbo Urban Construction Design and Research Institute Co., LTD. Zhejiang, Ningbo 315000

Abstract: For the study of soft land in shield shallow cutting building pile foundation group of influence on building structure, with a shield tunnel engineering as the background, using three-dimensional finite element numerical simulation analysis, study the building pile foundation group after cutting deformation rule, analysis the most unfavorable state of building pile foundation settlement displacement, can guide the actual construction safety scope. The main conclusions are as follows: 1) If the settlement difference of local adjacent pile foundation in the building exceeds the standard limit, the emptying and closure management should be conducted during the shield cutting period; 2) the structure outside the influence scope can be used in a short time, but the building safety appraisal is required; 3) the shield cutting process is complicated and difficult, so full preparations should be made to control the shield tunneling parameters to ensure the safe construction.

Key words: shield comprehensive pipe corridor; soft land foundation; shallow cut pile; numerical simulation; construction parameters

引言

由于明挖法施工需迁改管线、交通导改、绿化拆复, 一般多用于新开发区、新建道路等空旷区域的综合管廊建设。对于中心城区, 由于建设空间受限、交通疏导困难、管线迁改量大等原因, 管廊建设更适采用“非开挖”的施工方式。故近年来采用盾构法施工的管廊工程案例不断涌现^[1-2]。

常规盾构线位上遇到无法避让, 清障或托换桩基代价过高的情况, 可考虑采取磨切桩基的方式穿越, 这种方式既不改变盾构线位, 也不影响建筑的整体使用, 但需要进行结构安全分析。自2013年至今, 盾构直接切削钢筋混凝土桩基技术取得飞速发展, 在理论分析、数值模拟、实测分析等方面取得了一定的成果^[3-7]。目前国内已有较多关于盾构切桩的案例和研究, 但均出现在轨道交通工程中^[8-10], 且切桩位置大多位于桩底附近。宁波某管廊工程涉及的某厂区办公楼, 因拆迁时间延后, 必须采用盾构切桩方式穿越。本次磨切分布集中, 切桩数量达到14枚, 而且切桩位置位于较浅层的软土地基中, 残余桩长仅1/3。本文以此为背景, 通过有限元分析, 研究浅层切削建筑桩基群对建筑结构的安全影响, 并针对性提出应对措施, 以期为类似工程提供借鉴。

一、工程概况

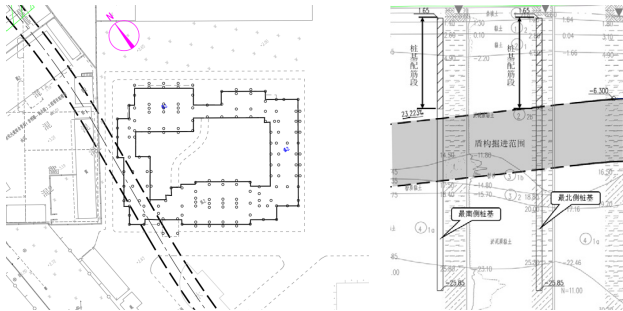
6.2m, 内径5.5m, 盾构管片厚350mm, 环宽1.2m, 采用C50混凝土。

本综合管廊长约6.4km, 全线采用盾构法施工。衬砌圆环外径 涉及切削建筑桩基的区间位于本项目的10#工作井~11#工作

* 作者简介: 钱磊 1991年10月男 汉族 浙江省宁波市 硕士研究生 工程师 专业地下空间开发

井区间,本区间地面标高约2.5~3.0m,盾构穿越范围主要为2-1黏土、2-2b淤泥质黏土、3-2粉质黏土等典型滨海软土地层,地质软弱,其特点为流塑状、压缩性高、均匀性差。

待穿越建筑建于1999年,根据收集的竣工资料显示,该办公楼工程类别为民用建筑四类,结构类型为二层框架结构。基础为直径377mm的沉管灌注桩,桩长约27.5m,桩顶标高为1.65m,上部结构和桩基础的混凝土设计强度均为C20,桩身上部1/3范围配置6Φ12主筋。因厂区办公需要,预计本建筑在盾构施工后仍需继续使用2~3年,之后将被拆迁,因此无需考虑房屋结构长期安全性。



> 图1 盾构穿越建筑平面位置关系

> 图2 盾构切割桩基竖向位置关系

二、盾构切桩施工风险

(一) 盾构隧道本身风险

1. 盾构刀盘切削后的桩基混凝土破碎块尺寸难以控制,大尺寸的土块容易堵塞螺旋输送机出口,导致出土不顺畅,影响盾构掘进工效。
2. 盾构切削桩基时,桩基中的钢筋难以切割至理想长度,往往无法随渣土排出而缠绕在刀盘上,甚至导致刀盘无法转动。
3. 钢筋进入螺旋输送机后,若长度过长,可能会卡在螺旋输送机叶片,导致无法出土。
4. 遇到磨桩数量大、桩身强度高的情况,桩基对刀盘的碰撞会加剧,容易造成刀盘的磨损和崩裂,严重时甚至导致刀具脱落,掘进受阻。

(二) 被切割房屋风险

1. 桩基被切割后,桩长变短,导致桩基承载力的不同程度损失,可能发生桩基不均匀沉降,导致结构开裂、受损。
2. 切割桩基数量较大时,桩群和上部结构受力将进行重新分布,可能发生连续性破坏。
3. 软土地区土的压缩性大,对桩基的水平约束力较小,盾构切割时可能发生桩的水平位移过大,导致整根桩失效无承载力,加剧不均匀沉降以及上部结构的破坏。

三、盾构浅层切割群桩数值模拟

首先利用PKPM结构设计软件进行翻模,验证建筑竣工图中桩基承载力指标,并为后续有限元模型提供依据和参考。随后利用有限元计算软件MIDAS/CIVIL建立建筑结构框架模型,并模拟

分析桩身损失对上部结构的影响。

(一) 建立PKPM结构模型

由于缺少建筑设计图和计算模型,为了验证后续有限元模型的正确性,通过建筑结构竣工图,利用PKPM结构设计软件翻模,计算柱底反力和桩端反力。结果显示柱底反力约240~477kN,手算可得桩基承载力约235~387kN,接近竣工图所提的单桩承载力特征值370kN。可将后续有限元模型的柱底反力和桩端反力与之比较,验证其正确性。

(二) 建立有限元模型

首先建立房屋切削桩基前完整模型,模型选取如下:①建筑的梁、柱和桩基础采用梁单元模拟;②建筑楼板、屋面、墙体采用板单元模拟。建模时考虑了地基梁承担部分承载力,在地基梁下部添加竖向弹簧模拟土体反力,弹簧刚度为按m法计算的所在土层的桩端地基竖向抗力系数。桩基础节点处设置水平向弹簧,模拟土体横向约束,弹簧刚度根据土层水平基床系数计算。计算结果表面,柱底反力、桩基承载力与PKPM模型相近,验证了有限元模型的正确性,所选参数合理。

然后在完整模型基础上,按照实际切桩位置截取残余桩基,通过设置不同的桩底弹簧刚度,研究盾构切桩对建筑的影响。

(三) 不同切桩工况对建筑影响分析

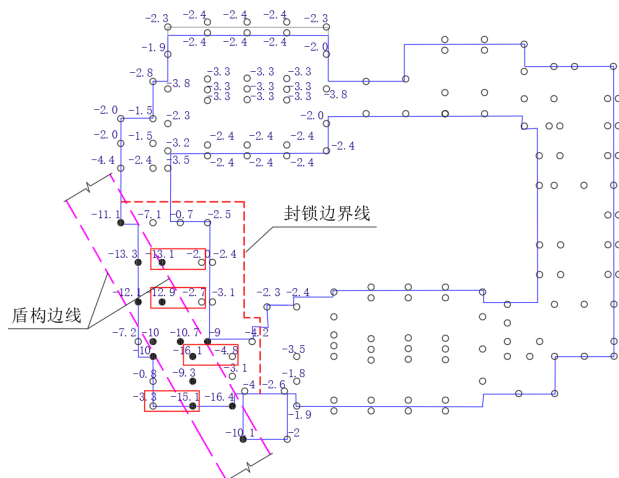
根据实际工况,盾构机盾壳与隧道管片之间都存在注浆层。本工程隧道管片外径6.2m,选用的盾构机盾壳外径6.4m,因此注浆层厚10cm。盾构同步注浆采用新型大比重长拌单液浆,根据设计要求,浆液20小时屈服强度 $\geq 800\text{Pa}$,7天的抗压强度 $\geq 0.5\text{MPa}$,28天的抗压强度 $\geq 1.0\text{MPa}$ 。

由于注浆层的存在,而且浆液硬化需要一定时间,假设盾构切桩后桩基垂直度仍在容许范围内,桩底直接与浆液接触,此时桩端承载力无法满足要求,桩基将发生沉降。为了研究切桩后桩端土体刚度对桩基沉降的影响,在有限元模型中计算不同的桩端弹簧刚度下桩顶位移。其中弹簧刚度最大的情况为直接作用于管片上方,达到127000kN/m;其次为原状土体的桩端地基竖向抗力系数,同样采用m法计算,约为42000kN/m;而最不利情况为桩基倾斜,完全失效,此时桩端弹簧刚度为0。分别计算上述情况的桩顶最大位移:当桩底竖向约束刚度为127000kN/m、42000kN/m和接近0时,桩顶沉降最大值分别为-3.5mm、-7.3mm和-16.4mm。

假设所有截断的桩基均处于最不利情况下,建筑上部结构发生不同程度的破坏:①地基梁3处梁端、2处梁跨中钢筋屈服;②一层框架梁3处梁端、1处梁跨中钢筋屈服;③二层框架梁、屋顶连梁2处梁端、1处梁跨中钢筋屈服。虽然个别构件发生钢筋屈服,但因框架结构整体性强,传力合理,房屋并不会发生连续倒塌。但需判断可继续使用的理论范围,为业主政策处理和后期房屋鉴定提供依据。

由于有限元软件无法自动模拟上部结构破坏的工况,所以需手动将上述构件按破坏的位置断开,再次计算桩基沉降,将计算所得相邻桩基沉降差与《建筑地基基础设计规范》中的限值进行比较。超过限值的区域可判定为不建议继续使用,未超过限值

的区域,建议结合穿越后房屋安全鉴定,短期内可继续使用。《建筑地基基础设计规范》5.3.4条规定,高压压缩性地基土中,框架结构相邻桩基的沉降差允许值为 $0.003l$, l 为相邻桩基中心距。桩顶沉降结果如下图所示,其中红框内相邻桩基沉降差超出规定限值,判定为不安全,后续继续使用时设置封锁区域,封锁区域扩大至相邻跨。



>图3 桩顶沉降计算结果及不安全区域示意图

四、盾构切桩施工措施

(一) 穿越前准备工作

盾构穿越前对办公楼进行入户调查和房屋安全鉴定,留存施工前房屋安全状况;施工盾构选型时需考虑合理的刀盘配置,满足磨桩需求;要求盾构施工前本房屋需腾空、警戒围挡,施工期间加强对房屋沉降、倾斜等监测工作,腾空和监测范围至少为磨切桩基两侧以外3跨;施工方应会同各方做好应急预案。

(二) 穿越期间盾构掘进参数控制

应在前一区间选择盾构埋深和土体参数相近的区段作为试验

段,总结掘进经验,为后续切桩施工确定合理的掘进参数;盾构机在10#工作井过站期间,对盾构机进行全方位检查和修整,重点替换磨损刀具;在距离桩基位置1m时降低掘进速度,当刀盘推力增加,扭矩跳动突然增加,掘进速度下降,或盾构姿态跳动较大时,可认为已贴近桩体;在切桩过程中,盾构掘进应按照“控扭矩、中转速、保土压、控姿态”的原则进行;下穿时应加强同步注浆和二次注浆,必要时,可进行3次、4次注浆;加强对房屋的变形监测及裂缝观测,下穿磨桩时对其监测频率建议不小于2次/d。

(三) 穿越后鉴定工作

盾构完工后,应在房屋变形稳定后对房屋进行安全鉴定,判断其是否能继续使用和能够继续使用的区域范围,不能继续使用范围应采用新砌隔墙等方式强制隔离;房屋完成使用,准备拆除时,拆迁方案需报管廊建设单位相关部门审批后方可实施。

五、结束语

本文采用三维仿真模型对盾构浅层切削建筑桩基群进行数值模拟,计算得出盾构切桩影响范围和沉降数据,得出以下结论:

(一) 文章总结了盾构磨切桩基施工潜在的施工风险,包括盾构自身施工风险和被切桩的建筑安全风险,为类似工程提供了安全警示。

(二) 通过有限元数值模拟分析可知,本次盾构综合管廊模拟切建筑桩基群可能会对建筑局部区域造成破坏,不满足规范要求,因此需要在盾构穿越前腾空一定区域内的房屋,盾构穿越后需经过房屋安全鉴定后方可短期内继续使用。该分析方法可为类似工程提供启发和参考。

(三) 针对磨切桩基工况下的盾构掘进施工,本文提出了相关控制标准和施工措施,为后续顺利施工提供了理论支撑,同时为类似工程的施工控制提供参考。

参考文献

- [1] 谭忠盛,陈雪莹,王秀英,等. 城市地下综合管廊建设管理模式及关键技术[J]. 隧道建设, 2016, 36(10): 1177-1189.
- [2] 朱邦范,陈立飞,杜晓庆,等. 盾构法在哈尔滨化工路综合管廊中的应用研究[J]. 隧道建设, 2019, 39(3): 459-464.
- [3] 王禹棕,李继超,廖少明. 深圳地铁9号线盾构切削群桩数值模拟与实测分析[J]. 隧道建设, 2017, 37(2): 192-199.
- [4] 李发勇. 盾构掘进切削灌注桩桩基群施工关键技术——以宁波地铁3号线钱仇区间为例[J]. 隧道建设, 2020, 40(4): 570-574.
- [5] 吴东亮. 复杂地质条件下盾构切削建筑物桩基群影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 5: 121-126.
- [6] 王晓庆. 软土地区地铁隧道穿越既有桥梁桩基磨桩技术研究[J]. 道路桥梁, 2019, 46(6): 132-133.
- [7] 孙波,肖龙鸽,孙正阳,殷明伦等. 深圳地铁盾构穿越建筑群及切削桩基施工[J]. 隧道建设, 2015, 35(6): 571-578.
- [8] 郑坚. 穿越桩基础的盾构机改造技术[J]. 建筑施工, 2010, 32(5): 391-393.
- [9] 符敏. 盾构穿越厂房切削钢筋混凝土桩基施工技术[J]. 施工技术, 2010, (7): 90-91.
- [10] 傅德明,李毕华,马忠政. 软土盾构直接切削钢筋混凝土桩基施工技术[J]. 中国市政工程, 2010, 4(147): 46-48.