

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.051

免共振钢管桩施工对桩周环境的影响

侯晓华

[上海城建市政工程(集团)有限公司,上海市 201999]

摘要:与传统沉桩工艺相比,高频免共振法施工具有施工效率高、噪音污染小、泥浆污染少、对周围环境影响小、适用地质范围广等特点,但在紧邻地铁施工时对地铁影响的研究较少,依托杨高中路改建工程,通过对临近地铁的桩位附近进行原位监测试验,分析了高频免共振沉桩施工对桩周环境的影响,保障地铁运营安全。

关键词:免共振;钢管桩;桩周土体影响;位移;振动

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0191-04

0 引言

在城市建成区施工桩基,往往面临地铁轨道与道路工程的建设空间存在重叠或邻近问题,这对桩基施工工艺提出了高要求。传统的沉桩工艺主要包括锤击法、振动法、钻孔灌注桩、静压法等,普遍存在噪音、振动、挤土、环保等问题。近年来,一种新型振动法沉桩工艺(高频免共振法)逐渐成为研究热点^[1-10]。高频免共振法的工作原理是免共振锤通过高频振动,迫使桩周土体发生液化或软化,减少桩侧与桩底阻力,使钢管桩在桩锤自身重力和振动锤激振力的作用下下沉至设计标高。研究表明高频免共振法具有施工效率高、噪音污染小、泥浆污染少、对周围环境影响小、适用地质范围广等特点^[2-3]。

最早,在20世纪30年代,德国率先进行了高频振动打桩试验,并申请注册了相关专利。随后,美国、法国、日本、中国等国家也开始了高频振动锤的实践尝试与理论研究^[4-5]。目前,国内外许多学者已经针对高频振动沉桩的施工参数、影响规律与承载能力等方面进行研究。Viking(2002)^[6]通过对桩进行高频振动的现场足尺试验,探究了高频振动沉桩工艺的主要施工参数,包括振动锤频率、重量参数,桩的尺寸参数,土体性能参数等。陈福全(2010)^[7]等探究了高频振动沉桩过程引起的地基孔隙水压力增长规律,并分析了其对桩的可打入性的影响。杨柳春(2018)^[8]、李操(2020)^[9]、王卫东(2021)^[10]、王祯(2022)^[11]等均依托在上海主城区进行的高频振动沉

桩试验,监测并分析了在沉桩过程中桩周土体位移、孔压、土压力、振动等变化规律,总结了高频免共振沉桩工艺的影响范围。张娟(2021)^[13]结合多个高频免共振沉桩施工案例,分析了桩承载力随时间的变化趋势,并得出高频免共振沉桩速度快是以破坏土体为代价,且后续的桩承载力恢复缓慢。

上述研究成果均为保障高频免共振沉桩法的有效安全施工提供了一定的理论与经验基础,但对于邻近地铁、旧路改建等复杂环境条件,现有工程实践下的试验与经验较少。本文以杨高中路改建工程为研究背景,通过在高架桩基附近的原位监测试验,探究高频免共振法施工对桩周土体的振动与变形等影响,为后续施工及地铁保护提供支撑依据。

1 免共振法沉桩现场监测试验

1.1 工程背景

依托工程部分施工段桩基位于上海地铁9号线安全保护区内,最小净距仅为3m。现场土层分布以及土体的物理力学性质参数见表1。根据前期勘察资料,该区域地下水位标高1.30~1.80m,地下水位较高,地基土体主要处于饱和状态。

1.2 现场监测方案

现场选用WP06#墩桩基进行原位试验,桩与地铁隧道净距约为12m。考虑到基坑开挖施工不利于对测点进行保护,因此测孔均布设在基坑外,最终测点布设距离桩位分别为3、5、10m,点位与桩位平行于地铁隧道。每个点位布置了土体测斜点、孔隙水压力监测点、土体分层沉降监测点和地表振动监测点,见图1和图2。钻孔埋设测斜管、沉降导管与沉降环后,采用测斜仪和沉降仪进行数据采集,孔隙水压力

收稿日期:2023-01-10

作者简介:侯晓华(1982—),男,学士,工程师,从事市政工程施工工作。

表1 土层物理力学性质参数表

层号	岩土名称	一般层底埋深/m	含水率 W/%	孔隙比 e	塑性指数 I _p	峰值黏聚力 C/kPa	峰值内摩擦角 φ/(°)	压缩模量 E _s /MPa
① ₁₋₁	杂填土	0.80	31.5	0.89	14.3	21	17.6	5.09
① ₁₋₂	素填土	1.90	37.2	1.04	15.2	7	19.4	3.0
②	粉质黏土	3.40	44.1	1.22	14.9	11	14.8	3.0
③	淤泥质粉质黏土夹粉性土	9.50	47.6	1.34	17.5	9	10.5	2.13
④	淤泥质黏土	17.90	51.8	1.45	19.1	11	10.3	1.88
⑤ ₁₋₁	黏土	24.10	40.9	1.16	18.7	/	/	3.09
⑥	粉质黏土	28.70	26.3	0.75	15.6	54	15	6.18
⑦ ₁₋₁	黏质粉土夹粉质黏土	34.80	26.2	0.77	/	5	34.8	13.3
⑦ ₁₋₂	砂质粉土	48.10	22.1	0.66	/	1	38.5	12.16
⑦ ₂	粉砂	64.80	23.3	0.69	/	1	37.2	13.96

采用孔隙水压力计进行监测。每个测孔深度为 20 m, 考虑到本项目为旧路改造工程, 原路面厚度约 1 m, 为防止原路面对测试结果的影响, 实际埋设时将沉降环、孔隙水压力计分别埋设在距地表 1.5、5、10、15、20 m 处的土体中。地表振动采用 AB 胶与螺丝钉将加速度传感器测试固定在地面以便进行连续测试。

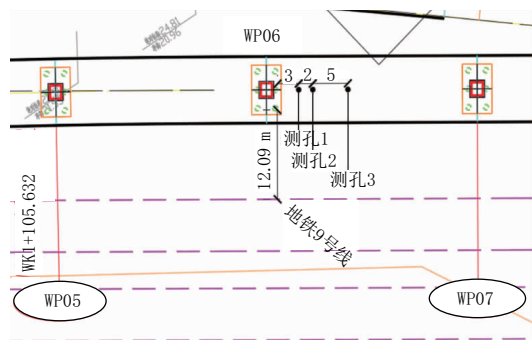


图1 现场监测点位布设平面图

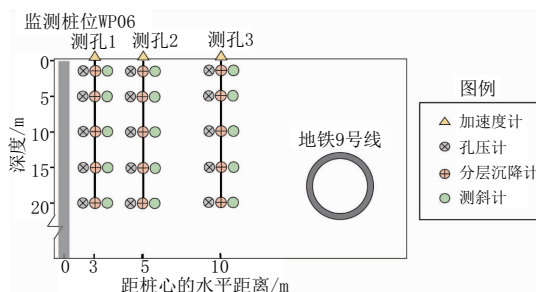


图2 现场监测点位布设断面图

1.3 钢管桩施工参数

试验桩位内有 6 根钢管桩, 桩长 53 m, 直径 0.7 m, 间距 2.5 m。钢管桩基持力层位于粉砂⑦₂层, 分 3 节打到设计标高, 每节长度 16~19 m, 每节桩沉桩时间为 5~8 min。现场工况见表 2。

2 沉桩试验结果与讨论

2.1 桩周土体水平位移

打桩前后不同测点处的土体均发生了一定的水

表2 现场工况

时间	现场施工情况
10月17日 9:09~10:33	6根钢管桩底桩入土 16~19 m
10月18日 6:56~8:17	6根钢管桩中桩入土 16~18 m
10月18日 13:20~14:41	6根钢管桩顶桩入土 17~19 m

平位移, 有正有负, 出现了挤压与收缩共存的现象(见图 3, 其中正值代表挤压变形, 负值代表收缩变形)。打入底节桩时, 地表以下 5 m 最大位移值为 0.8 mm。而在地表以下 5~20 m 深度范围内最大收缩量为 3.4 mm。在进行中节、顶节桩沉桩施工时近地表出现的最大位移值为 3.2 mm。

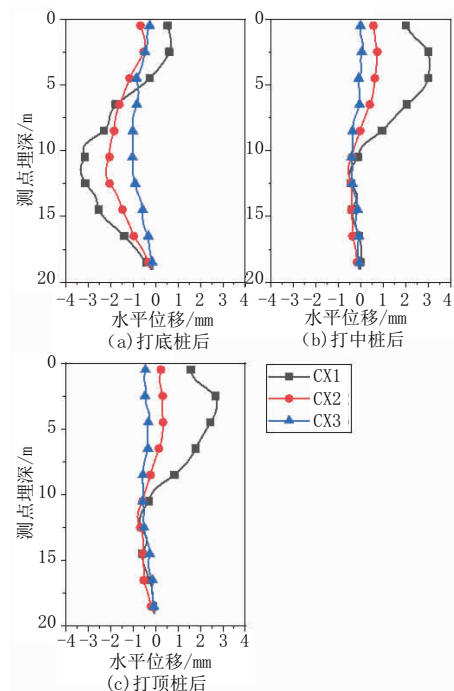


图3 桩周土体水平位移(单位:mm)

初步分析, 打入下节桩时, 地表出现了一定的挤土效应, 因此需通过水平位移来消化挤土应力, 而在 5~20 m 深度范围内, 土质主要为饱和淤泥质黏土,

土体的物理力学性质较差,压缩性高,高频免共振锤使土体产生振动液化后,破坏了土体的结构与强度,带动周围土体向桩位移动;在打入中节、顶节桩时,高频振动对地表以下10~20 m深的土体水平位移影响较小,所以挤土效应主要集中在近地表10 m范围内。

2.2 桩周土体分层沉降

最大隆起部位在距桩位最近测孔的地表,打入三节桩时隆起量在2~3 mm,主要是由于沉桩的挤压作用产生(见图4,正值代表沉降,负值代表隆起)。整体来看,测孔距桩位越远,测孔内土体产生的竖向变形减小,与通常的认知相符。打入底节、中节、顶节桩的最大沉降量分别为2.5 mm、3 mm、3.5 mm,在地面一下15~20 m范围内,与文献[9]和文献[14]的结果近似,总体上可以认为由高频振动沉桩引起的桩周土体沉降变形较小。

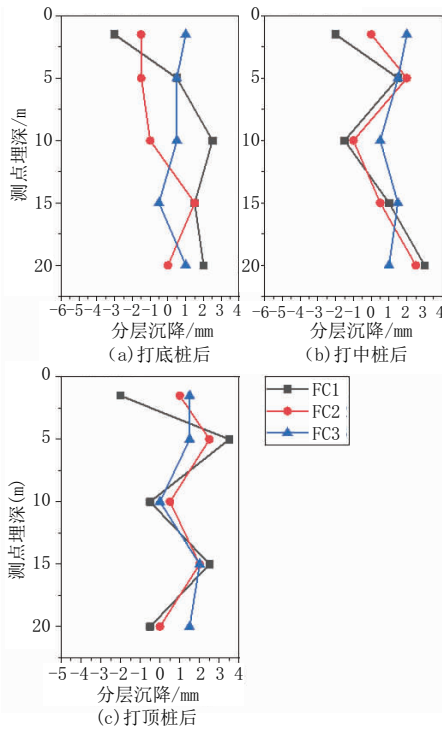


图4 桩周土体分层沉降(单位:mm)

2.3 桩周土体孔隙水压力

图5为各节钢管桩沉桩完成后,桩周土体内孔隙水压力变化情况。由图5可知,随着沉桩施工的完成,桩周土体出现明显的孔隙水压力上升与累积现象,距离桩位越远,测孔内土体的孔隙水压力增加逐渐减小,距桩位10 m以外的孔压增量已经小于3 kPa。

孔压增量最大值23.6 kPa出现在打入下节桩后、距桩位3 m处的测孔内,深度10~15 m埋深处。在深度20 m处,土体孔隙水压力增量降为12.6 kPa。

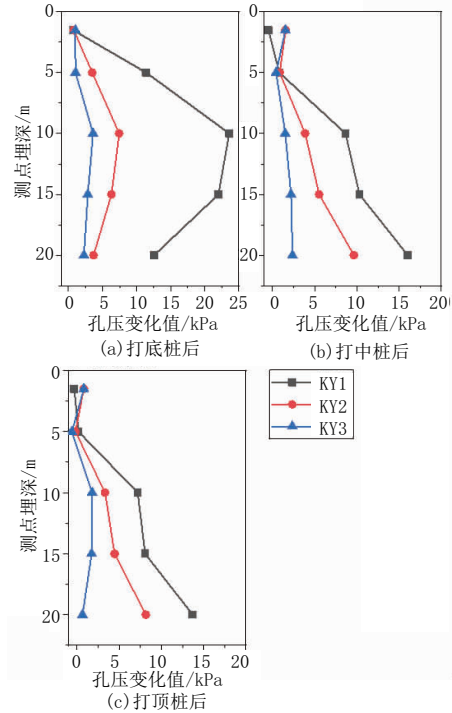


图5 桩周土体孔压变化值(单位:kPa)

究其原因,在10~15 m处该区域含大量淤泥质黏土,含水率与孔隙比较大,渗透系数较低,易出现孔隙水压力的累积,另外由于底节桩长16~19 m,高频免共振锤的振动影响对桩端及以下的土体的影响程度相对较小。打入中节桩与打入底节桩后的孔压相比,桩周土体的孔隙水压力除了深度20 m处的测点,其余均呈现下降趋势,下降幅值为10~15 kPa,说明桩周土体孔压在高频免共振锤的累积作用下也在不断消散,且消散速率大于累积速率。打入顶节桩与打入中节桩后的孔压相比,桩周土体的孔隙水压力下降幅值为2~3 kPa。

再以测孔1中孔压变化(KY1)为例,打桩后孔压消散曲线见图6。浅层土体孔压消散较快,在打桩完成后第2天,孔压基本消散。深层土体中孔压消散较慢,20 m深处土体在打桩完成10 d后仍有6.9 kPa残余超孔隙水压,但15 m以上已基本消散。

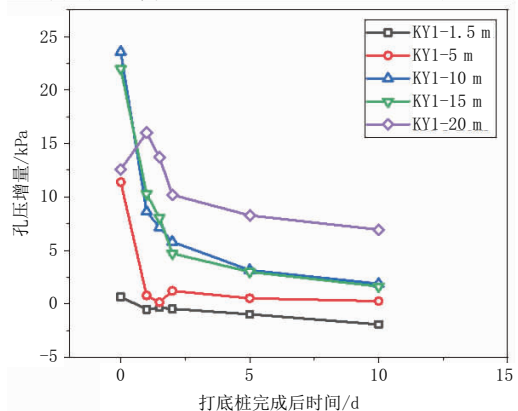


图6 桩周土体孔压消散曲线

2.4 地表振动

这次试验也对打桩过程中周边地表的振动进行了记录(见图7)。从记录数据可以看出在测试过程中,打桩时随着水平距离的增大,地表振动幅度明显衰减,另外打入底桩时产生的地表最大振动为6.266 mm/s,明显高于中桩与顶桩的4.184 mm/s和2.870 mm/s。由于打入底桩时振源较浅,反映到地表的振动明显;而在打入中桩和顶桩时,振动产生的能量部分被深层土体吸收,因此反映到地表的振动相对较小。同时也记录了现场背景振动约为0.367 mm/s,明显小于打桩造成的振动幅度。

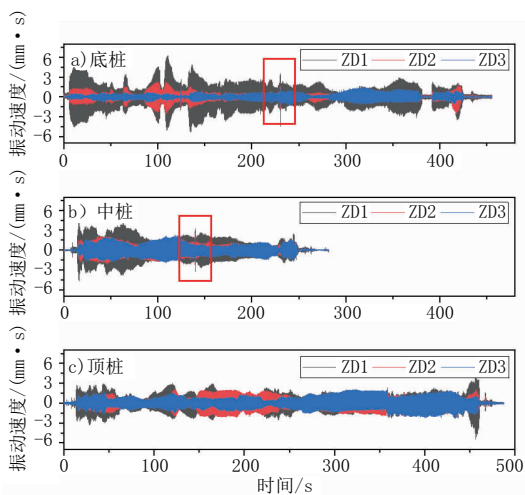


图7 地表振动速度波形

此外在监测时也记录了外侧车道车辆行驶时产生的振动现象(图7红框处的数据)。车辆产生的最大振动值为3.281~3.572 mm/s,大于多数因打桩引起的振动幅度。这从侧面表明,高频免共振沉桩工艺引起的振动较小,甚至小于车辆引起的振动。

3 结论

本文以杨高中路改建工程为研究背景,通过在高架桩基附近的原位监测试验,分析了高频免共振沉桩对桩周环境的影响,结果表明:高频免共振钢管桩沉桩施工会对桩周土体的水平位移、分层沉降、孔隙水压力与地表振动产生一定的影响,但监测数据也充分表明该工艺对桩周环境影响较小。主要结论如下:

(1)高频免共振钢管桩沉桩施工会对桩周土体的

水平位移产生一定的影响,挤土效应导致的水平位移主要集中在近地表(10 m内)。

(2)沉桩过程会使桩周土产生沉降变形或隆起变形,这与土层特性差异与挤土效应等因素有关,整体上由高频振动引起的桩周土体变形量较小。

(3)随着沉桩施工地进行,桩周土体出现明显的孔隙水压力上升与累积现象,孔压增量峰值为23.6 kPa。浅层土体孔压消散较快,深层土体孔压消散缓慢。

(4)高频免共振沉桩产生的地表振动随着水平距离的增大衰减明显,并且整体振动较小,甚至小于车辆引起的振动峰值。

参考文献:

- [1] 陈福全,汪金卫,李大勇,等.高频液压振动锤打桩的应用概况与研究进展[J].岩土工程学报,2011,33(S2):224-231.
- [2] 耿鹏飞.上海地区高频免共振沉桩抗压承载力规范设计方法[J].上海建设科技,2022(2):16-20.
- [3] 施耀锋.紧邻地铁隧道高频免共振液压沉桩施工技术[J].建筑科技,2018,2(2):30-33.
- [4] Mosher R L.Axial capacity of vibratory-driven piles versus impact-driven piles[C]//the 69th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D C, 1990.
- [5] Bement R A P, Selby A R.Compaction of granular soils by uniform vibration equivalent to vibrodriving of piles[J]. Geotechnical & Geological Engineering, 1997, 15(2):121-143.
- [6] Viking K.Vibro-driveability, a field study of vibratory driven sheet piles in non-conhesive soils[D].Stockholm:Royal Inst of Technology, 2002.
- [7] 陈福全,汪金卫.高频液压振动锤沉桩引起的孔压增长性状分析[J].铁道科学与工程学报,2010,7(1):7.
- [8] 杨春柳.钢管桩免共振施工对邻近地铁的振动影响试验研究[J].建筑施工,2018,40(9):1655-1657.
- [9] 李操,张孟喜,周蓉峰,等.免共振沉桩原位试验研究[J].长江科学院院报,2020,37(9):122-127.
- [10] 王卫东,魏家斌,吴江斌,等.高频免共振法沉桩对周围土体影响的现场测试与分析[J].建筑结构学报,2021,42(4):131-138.
- [11] 王樟.高频免共振液压振动锤沉桩对桩周土影响的研究[J].中国市政工程,2022(5):91-95.
- [12] 王春晖.免共振钢管桩施工对紧临建筑物的影响[J].建筑科技,2020,4(2):15-17.
- [13] 张娟.高频免共振液压振动沉桩钢管桩承载力研究[J].土工基础,2021,35(5):616-620.
- [14] 杨光强.基于免共振液压振动锤系统沉桩施工对周围环境的影响分析[J].建筑施工,2017,39(6):888-889.

(上接第163页)

- [3] 赵成功,赵人达,王永宝,等.曲线连续梁桥梁体顶升及顶推复位关键技术研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020,36(3):395-403.
- [4] 王伟,刘昀,丁毅.连续梁桥多跨整联同步顶升施工计算分析[J].中

- 外公路,2017,37(3):102-106.
- [5] 谭长建.多跨连续曲线梁桥整体同步顶升监测分析[J].公路,2017(5):91-94.