

DOI: 10.11779/CJGE2017S2055

透水管桩技术研究进展

曾超峰^{1, 2, 3, 4}, 薛秀丽³, 梅国雄^{*1, 2}

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 广西 南宁 530004; 3. 湖南科技大学岩土工程
稳定控制与健康监测湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 4. 天津大学滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要: 静压桩沉桩过程挤土效应一直困扰工程人员, 如何加快沉桩引起的超静孔隙水压力消散是目前的研究热点。透水管桩通过沿桩身增设透水孔, 联通土体释放超静孔隙水压力, 可加速沉桩过程桩周土固结。透水管桩技术将控制沉桩挤土效应及加速超孔压消散的方法耦合至现有技术产品中, 起到既实现控制效果, 又提升工程效率并节省工程造价的目的, 是结合了桩基和排水固结法的优点、极具潜力的一种主动、高效、资源节约导向的桩基施工与地基处理工法。对透水管桩技术在国内外研究进展进行分析, 总结了透水管桩承载性能、透水性能、透水性能优化等方面的研究成果, 简要论述了存在的问题及今后的研究方向。

关键词: 透水管桩; 挤土效应; 超静孔隙水压力; 土体固结

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2017)S2-0228-04

作者简介: 曾超峰(1987-), 男, 博士后, 讲师, 硕士生导师, 从事岩土工程教学与科研工作。E-mail: cfzeng@hnust.edu.cn。

A review of recent advances in permeable pipe pile

ZENG Chao-feng^{1, 2, 3, 4}, XUE Xiu-li³, MEI Guo-xiong^{1, 2}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education, Nanning 530004, China; 3. Hunan Provincial Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Stability Control and Health Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 4. Key Laboratory of Coast Civil Structural Safety of the Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Soil compaction in the process of pile driving has always plagued engineers. How to speed up the dissipation of excess pore water pressure during the pile driving is the current research focus. The permeable pipe pile, which is featured by series of drainage hole distributed along the pile shaft, can accelerate the dissipation of excess pore water pressure and the soil consolidation. The effect of reducing the soil compaction and speeding up the dissipation of excess pore water pressure during the pile driving is inherent in the service of permeable pipe pile, which can improve engineering efficiency and save project cost. The technique of permeable pipe pile, combining the advantage of pile foundation and drainage consolidation method, can apply to pile foundation construction and ground treatment with high economic efficiency. In this paper, a review of recent advances in permeable pipe pile is carried out, and the research results of the bearing performance, permeable performance, and drainage hole distribution optimization of permeable pipe pile are summarized. In the end, brief discussion of the existing problems and the future research direction in permeable pipe pile is conducted.

Key words: permeable pipe pile; soil compaction effect; excess pore water pressure; soil consolidation

0 引言

静压桩在我国被广泛应用, 仅建华桩厂每年生产管桩可达1亿m。2017年, 我国颁布了《静压桩施工技术标准》(JGJ/T 394—2017)的行业标准, 这也从一个侧面反映了静压桩广受施工企业青睐, 行业需求大。但静压桩沉桩过程会产生挤土效应, 超孔压的发展和传递可能导致临近已施工基桩出现浮桩、偏位、断桩等情况, 严重影响桩基承载发挥及施工质量^[1]。

加速沉桩引起的超孔压消散是减小挤土效应的关

键。叶观宝^[2]提出了采用长的塑料排水板与短的水泥搅拌桩联合处理的方法; 刘汉龙^[3]提出了抗液化刚性排水桩。这些工法可以有效控制沉桩挤土位移, 但需

基金项目: 国家自然科学基金项目(51322807, 41672296, 51708206, 11602083); 广西自然科学基金创新研究团队项目(2016GXNSFGA380008); 湖南省自然科学基金项目(2016JJ6044); 湖南省教育厅项目(15C0557); 天津大学滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室开放课题(2017-KF03)

收稿日期: 2017-10-10

***通讯作者** (E-mail: meiguox@163.com)

通过添加额外施工条件实现其控制效果, 因此, 不免带来了工程效率上的问题。梅国雄^[4]提出了透水管桩技术, 对常规管桩桩身开设透水孔, 使得沉桩时桩周土体中的孔隙水可通过透水孔进入管腔内部, 从而加速超孔压消散。这样一来, 控制沉桩挤土效应的方法被耦合至现有施工措施或技术产品中, 起到既实现控制效果, 又提升工程效率并节省工程造价的目的。目前, 国内外对透水管桩技术已开展了部分研究, 包括透水管桩承载性能、透水性能及其优化等, 本文将针对这三个方面的研究进行分析。

1 透水管桩承载性能研究

1.1 竖向承载性能

戴郑新^[5]开展了 13 组透水管桩桩身抗压性能试验, 研究了桩身开孔参数(孔数 n 、孔径 d 、开孔层数 L)对管桩材料竖向承载性能的影响。研究表明: ①若孔径不变, 增加孔数将使管桩承载性能降低, 这是由于开孔数量增多, 构件中薄弱面将增加, 从而降低桩身极限承载力; ②若总孔数和孔径均不变, 减小每层的孔数(即, 增加开孔总层数)可使管桩承载性能得到提高。试验表明, 开 3 层孔较开 1 层孔(总孔数和孔径相同)的桩身极限承载力可提升近 10%, 这是由于开孔附近有一定范围出现应力集中, 而当开孔比较分散时, 应力集中相互叠加效应减弱, 进而使承载性能提高。

戴郑新^[5]在试验基础上, 建立了数值模型, 以模拟普通管桩与透水管桩的抗压试验全过程, 进一步探讨了满足竖向承载要求的管桩极限开孔率。在这里, 开孔率 ρ 可定义为

$$\rho = \frac{A_o}{A_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中, A_o 为开孔总面积, A_a 为管桩内壁面积。图 1 为透水管桩与普通管桩承载力之比(即, 承载力相对值, 记做 R_{BC})随桩身开孔率变化曲线, 可以看出, 开孔率在 10% 以内时, 透水管桩材料的竖向极限承载力至少能达到普通桩的 70%, 通过分析发现这仍能满足工程对桩身承载力的需求。

1.2 水平承载性能

戴郑新^[5]对普通和透水管桩开展了桩身水平承载性能试验, 记录了各桩的开裂弯矩、极限弯矩以及不同荷载下的裂缝宽度, 探讨了开孔对透水管桩抗弯抗裂性能的影响。研究发现: ①透水管桩在开孔处萌生裂缝, 对于同样的荷载条件, 普通桩较透水管桩而言将出现更宽的裂缝。这是由于裂缝常在应力集中的薄弱带处产生, 透水管桩的开孔使得桩身出现较多的薄弱带, 每个薄弱带附近均会有裂缝出现并发展, 而对

于普通管桩, 随着荷载的增大, 其桩身裂缝条数较透水管桩要少, 每条裂缝处的应力集中强度要大于透水管桩的情况, 因而将出现较透水管桩而言更宽的裂缝。②透水管桩与普通管桩相比, 在相同荷载下的跨中挠度更大, 开裂弯矩降低, 但仍能满足规范要求。在 10% 的开孔率内, 若合理选择孔径及开孔层数, 透水管桩的极限弯矩可得到提高, 这与透水管桩缝宽小于普通管桩有关。

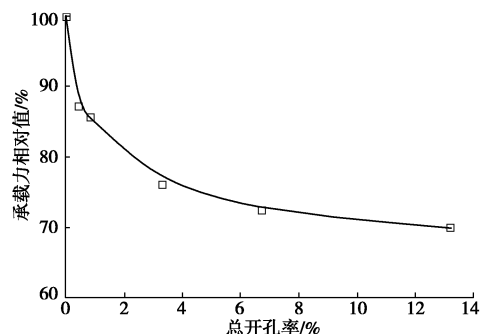


图 1 透水管桩与普通管桩承载力之比随桩身开孔率变化

Fig. 1 Curve of R_{BC} vs. ρ

2 透水管桩透水性能研究

2.1 模型试验

黄勇^[6-7]针对透水管桩和普通管桩, 分别开展了单桩与群桩的沉桩模型试验, 研究了透水管桩和普通管桩沉桩后桩周土中超孔压消散规律的区别。

试验结果表明: ①普通管桩桩周土体超孔压消散速度慢于透水管桩。这可由图 2 看出, 图 2 为透水管桩与普通管桩桩周下部土体各测点的超静孔隙水压力消散对比曲线, 图中, C1 和 C2 分别表示普通管桩和透水管桩试验在 C 点的超静孔隙水压力监测值, 其余类同。图 2 显示: 在沉桩后相同时间内, 透水管桩桩周土体中超孔压要小于普通管桩的情况, 这体现出了透水管桩对周围土体中超孔压消散的加速作用; ②距离透水管桩越近或埋深越深, 透水管桩对土体中超孔压消散的加速效果越强; ③当采用透水管桩群桩时, 桩周土体中超孔压消散较单桩时更快。

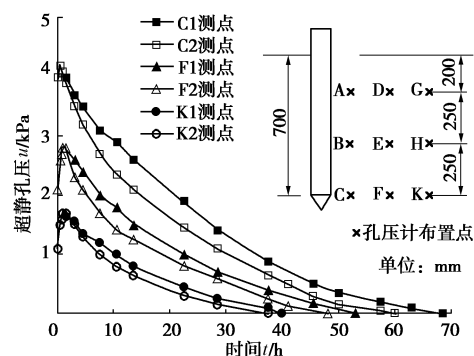


图 2 透水/不透水管桩试验中测点 C、F、K 超孔压消散曲线
Fig. 2 The contrast of the excess pore water pressure dissipation at C, F, K between two cases

2.2 数值模拟

Ni^[8]等采用 Abaqus 建立了透水管桩沉桩过程有限元模型,用圆柱扩张理论解对模拟结果进行对比验证,在此基础上,分析了沉桩贯入过程以及沉桩结束后桩周土体固结性状和超静孔隙水压力的产生和消散规律,并与常规桩进行对比,探究了透水管桩加速超静孔隙水压力消散的规律与效果。研究表明:①在土体固结前期,透水管桩对于加速周围土体中超孔压消散具有明显优势,这使得周围土体能够快速固结,让桩基承载力快速提升;②土体渗透性越好,透水管桩加速桩周土体固结的效果越好。

3 透水管桩透水性能优化研究

桩身透水孔分布对透水管桩透水性能有较大影响。学者们开展了相关数值模拟研究,以探明实现透水性能最大化的管桩开孔方式。

Ni^[8]等将透水管桩桩身透水域划分为四段:a、b、c、d,如图3(a)所示,分别考虑4种工况对桩周土体固结效率的影响:①a段透水,b、c、d段不透水;②b段透水,a、c、d段不透水;③c段透水,a、b、d段不透水;④d段透水,a、b、c段不透水。

如图3(b)所示,定义透水域比例参数 Lt scale 为管桩桩身透水域距离桩底的距离 L_1 与管桩入土深度 L_0 的比值,即

$$\text{Lt scale} = \frac{L_1}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

分别考虑以下工况对桩周土体固结效率的影响: Lt scale 分别为 20%、30%、50%、60%和 80%。

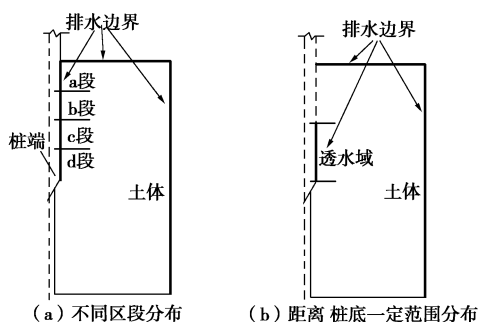


图3 透水域分布区域示意

Fig. 3 Permeable area distribution

研究表明:①透水孔最佳分布区域为桩端位置,此段区域处设置透水孔,其桩周土体固结效率最高。这可由图4看出,图4为不同工况土层固结效率对比,在同样的时间内,a段工况下土体所达到的固结状态最差,即固结度最低,b段、c段工况下较高,d段排水工况下固结度最高。②Lt scale=50%时为所需最佳透水域比例。这可由图5看出,图5为固结效率提升率

Uprate 随透水域比例 Lt scale 分布规律。在这里,Uprate 定义为

$$\text{Uprate} = \left(1 - \frac{t_n}{t_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中 t_n 表示不同 Lt scale 比例下透水管桩周围土体完成固结所需要的时间; t_0 表示 Lt scale = 0% 下普通管桩周围土体完成固结所需要的时间。图5显示:总体而言,Uprate 随透水域比例增加呈非线性增长,图中不同固结度曲线显示当 Lt scale 达到 50%时,Uprate 随 Lt scale 增长趋于平缓,可认为 Lt scale 即为所需最佳透水域比例。

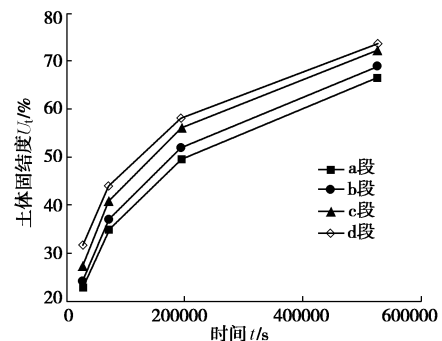


图4 不同工况土层固结效率对比

Fig. 4 Contrast of soil consolidation efficiency in different models

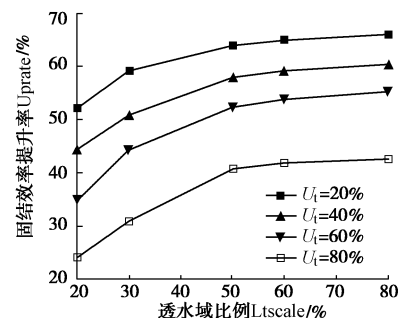


图5 固结效率提升率随透水域比例分布

Fig. 5 Uprate vs. Lt scale under the permeable pipe pile

4 结论与展望

透水管桩技术将控制沉桩挤土效应及加速超孔压消散的方法耦合至现有施工措施或技术产品中,起到既实现控制效果,又提升工程效率并节省工程造价的目的。目前国内外研究已经证明透水管桩具有满足工程需求的承载性能,拥有优于普通桩的透水性能。透水管桩可减小沉桩过程引起的超静孔隙水压力峰值,并加速其消散,提升桩周土体固结效率。透水管桩施工工艺于 2015 年也已获得江苏省省级工法(工法编号: JSSJGF2015—1—165)^[9],有望在实际工程中进一步推广应用。不过,要使透水管桩技术能更好的推广应用,仍有一些待解决的问题:

(1)应研究振动荷载对透水管桩水平承载性能的

影响。研究桩身开孔引起的薄弱面在往复周期循环荷载下对桩身承载力会造成什么程度的影响。

(2) 应开展现场试验, 以进一步验证透水管桩承载性能和透水性能。研究在真实水土环境下透水管桩竖向和水平向受力变形规律以及桩土荷载传递规律, 分析超静孔隙水压力加速消散与土体加速固结过程所带来的桩土荷载传递与常规桩的不同。

(3) 应完善透水管桩设计理论与施工检测技术, 应针对透水管桩技术, 提出相应的桩顶沉降、土体固结计算理论与方法, 并提出完备的透水管桩施工及检测技术, 以确保透水管桩能按设计发挥作用。

总的来说, 透水管桩技术作为一种主动、高效、资源节约导向的桩基施工与地基处理工法, 在未来有广泛的应用前景, 随着该项技术相关设计施工理论与方法的进一步完善, 有望将透水管桩技术更好地推广应用。

参考文献:

- [1] 赵春风, 杜兴华, 赵程, 等. 中掘预应力管桩挤土效应试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, **35**(3): 415 - 421. (ZHAO Chun-feng, DU Xing-hua, ZHAO Cheng, et al. Squeezing effect of inner-digging prestressed piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, **35**(3): 415 - 421. (in Chinese))
- [2] 叶观宝, 张振, 邢皓枫, 等. 组合型复合地基固结分析[J]. 岩土工程学报, 2011, **33**(1): 45 - 49. (YE Guan-bao, ZHANG Zhen, XING Hao-feng, et al. Consolidation of combined composite foundation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, **33**(1): 45 - 49. (in Chinese))
- [3] 刘汉龙. 一种抗液化排水刚性桩: 中国, ZL 2873886[P]. 2007. (LIU Han-long. An anti-liquefied rigid pile: Chinese Patent, ZL 2873886[P]. 2007. (in Chinese))
- [4] 梅国雄, 梅岭, 张乾. 自适应减压排水管桩及其制备工艺: 中国, ZL201110123235.6[P]. 2011. (MEI Guo-xiong, MEI Ling, ZHANG Qian. Adaptive decompression drainage pipe pile and its preparation process: Chinese Patent, ZL201110123235.6[P]. 2011. (in Chinese))
- [5] 戴郑新. 透水管桩承载性能研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2015. (DAI Zheng-xin. Analysis of permeable pipe bearing capacity[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2015. (in Chinese))
- [6] 黄勇, 王军, 梅国雄. 透水管桩加速超静孔压消散的单桩模型试验研究[J]. 岩土力学, 2016, **37**(10): 2893 - 2898, 2908. (HUANG Yong, WANG Jun, MEI Guo-xiong. Model experimental study of accelerating dissipation of excess pore water pressure in soil around a permeable pipe pile[J]. Rock and Mechanics, 2016, **37**(10): 2893 - 2898, 2908. (in Chinese))
- [7] 黄勇, 梅国雄, 王钰轲. 透水管桩的群桩沉桩室内模型试验研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2016, **33**(3): 18 - 23. (HUANG Yong, MEI Guo-xiong, WANG Yu-ke. Laboratory model experimental investigation of permeable pipe piles[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2016, **33**(3): 18 - 23. (in Chinese))
- [8] NI P, MANGALATHU S, MEI G, et al. Permeable piles: An alternative to improve the performance of driven piles[J]. Computers and Geotechnics, 2017, **84**: 78 - 87.
- [9] 江苏省建筑安全监督总站. 苏建质安[2015]311号自适应减压排水管桩施工工法[S]. 南京: 江苏省建筑安全监督总站, 2015. (Sujianzhi'an [2015]311 Construction method for permeable pipe pile[S]. Nanjing: Building safety supervisory office of Jiangsu Province, 2015. (in Chinese))

(本文责编 明经平)