

不同桩径钻孔灌注桩荷载传递特性现场试验研究

房博文¹, 张 骋¹, 胡 涛¹, 王孟伟², 马 壮³

(1.东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 211189; 2.南京市城乡建设委员会, 江苏 南京 210024;
3.中交二航务局第四工程有限公司, 芜湖 241000)

摘 要:长江三角洲地区桥梁工程多采用钻孔灌注桩作为主要基础形式, 根据南京某两处桥梁工程中 4 根不同桩径钻孔灌注桩的现场静载试验, 对该地区不同桩径钻孔灌注桩的荷载传递机理进行了研究。试验结果表明: 不应在粉砂层中通过盲目加大桩径来减少累计沉降量, 应根据试验反馈结果设计出合适桩径; 埋深 20~30m 和埋深 30~40m 粉细砂层中的合理设计桩径分别为 2.2m 和 1.8m, 桩径过小或过大均对桩基荷载传递特性产生负面影响; 中风化岩层中较为合理设计桩径为 1.8m, 盲目增加桩径不仅不能有效提升桩基沉降控制能力反而会产生负面影响。

关键词: 钻孔灌注桩; 桩侧位移; 桩侧阻力; 静载试验

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0151-03

引言

粉砂层、粉细砂层和中风化岩层广泛分布在我国长江流域, 随着我国长江经济带不断发展, 长江三角洲地区的城市规模不断扩张, 相应的桥梁工程项目也越来越多。这些桥梁通常采用钻孔灌注桩作为主要基础形式, 钻孔灌注桩具有施工工艺成熟、可根据土层条件灵活调整桩基直径大小的特点。尽管钻孔灌注桩施工工艺日渐成熟, 但是如何针对不同土层来确定合适的钻孔灌注桩桩径已成为目前桩基设计者和施工者关注的重要问题。钻孔灌注桩桩径过小可能会导致承载力不足, 钻孔灌注桩桩径过大则可能会造成材料浪费和钻孔施工质量难以控制。当前已有不少学者通过理论和试验等手段对钻孔灌注桩进行了有益研究, 刘日东^[1]开发了一种可提高海洋工程中钻孔灌注桩成桩质量的海水泥浆配制优化技术, 并依托某跨海大桥工程进行现场泥浆配比试验验证。毛宗元等^[2]依托北京某紧邻地铁项目的钻孔灌注桩现场试验, 总结了不同成孔方式桩基的承载力及变形特性, 其中相关工程数据为类似工程提供了经验。商允虎等^[3]通过数值仿真软件模拟了水泥温度及施工时间对灌注桩温度场的影响, 试验结果表明青藏高原地区灌注桩施工时可提高水泥入模温度, 应做好灌注桩水泥的温控措施。刘乃飞等^[4]通过某寒区桩基工程的现场试验, 研究了钻孔灌注桩和土层的传导系数、导水系数、回冻时间和温度变化等因素对竖向承载力的影响。陈志坚等^[5]通过模型试验研究了灌注桩桩身水泥凝固过程对桩周土体承载性能的强化机理, 并根据试验结果分析了桩侧挤密压力的分布和变化规律。上述研究为揭示钻孔灌注桩荷载传递特性提供了有益探索, 但相关研究多关于海上或北方寒区桩基工程, 针对长江经济带地区粉砂层、粉细砂层和中风化岩层中不同桩径钻孔灌注桩荷载传递特性的现场研究依旧较少。当前桥梁桩基规范并未考虑不同土层中桩径变化对钻孔灌注桩荷载传递特性的影响, 然而现有国内外学者的相关研究表明^[6], 在相同土层中不同直径钻孔灌注桩荷载传

递特性不同, 特别是针对粉砂层、粉细砂层和中风化岩层中的中大直径桩, 继续沿用现有桥梁桩基规范进行设计是不尽合适的。因此文中根据南京某两处桥梁工程的现场钻孔灌注桩静载试验, 研究粉砂层、粉细砂层和中风化岩层中不同直径钻孔灌注桩荷载传递特性, 试验成果可对类似钻孔灌注桩工程设计提供一定的指导。

一、场地地质和试桩概况

两处桥梁工程试验场地内共设置 4 根试桩, 分别为试桩 Z15, 桩径 1.5m, 桩长 64m; 试桩 Z18, 桩径 1.8m, 桩长 80m; 试桩 L22, 桩径 2.2m, 桩长 122.5m; 试桩 Z28, 桩径 2.8m, 桩长 90m。试验场地甲包括试桩 Z15、Z18 和 Z22, 试验场地乙包括试桩 L22。4 根试桩的桩端持力层均为中风化岩层, 且均穿过较厚的粉砂层和粉细砂层。受篇幅限制笔者仅对文中所研究的粉砂层、粉细砂层和中风化岩层的详细岩土特征及物理力学性质进行介绍。土层参数 f_{a0} 为地基承载力基本容许值, 土层参数 q_{ik} 为桩侧土摩阻力标准值。试验场地甲中文中所研究的土层信息如下: ②₃ 粉砂, 松散, 具有中偏高压缩性, 较低强度, 厚度较薄, 工程地质性质较差, f_{a0} 为 80kPa, q_{ik} 为 25kPa; ③₁ 粉砂, 稍密-中密, 具中等偏低压缩性, 较低强度, 厚度一般, 工程性质较差, f_{a0} 为 100kPa, q_{ik} 为 30kPa; ③₂ 粉细砂, 中密-密实, 具低压缩性, 较低强度, 厚度较厚, 工程性质一般, f_{a0} 为 160kPa, q_{ik} 为 50kPa; ③₃ 粉细砂, 密实, 具低压缩性, 普遍分布, 厚度较厚, 工程性质一般, f_{a0} 为 220kPa, q_{ik} 为 60kPa; ⑤₂ 中风化泥岩, 极软岩岩质极软, 遇水易软化, 厚度厚, 工程性质较好, f_{a0} 为 500kPa, q_{ik} 为 120kPa。试验场地乙中文中所研究的土层信息如下: ②₂ 粉砂, f_{a0} 为 90kPa, q_{ik} 为 25kPa; ②₃ 粉细砂, f_{a0} 为 110-140kPa, q_{ik} 为 33-38kPa; ②₄ 粉细砂, f_{a0} 为 200kPa, q_{ik} 为 55kPa; K2 中风化泥质粉砂岩, f_{a0} 为 500kPa, q_{ik} 为 120kPa。

收稿日期: 2022-09-09

作者简介: 房博文 (1994-), 男, 东南大学土木工程学院, 硕士生。

二、现场静载测试及试验结果

本次静载试验需将荷载箱预先埋入桩身内,其中 Z15 将单个荷载箱布置在桩端上方 12m。试桩 Z18、L22 和 Z28 为超长桩,因此需布置两个荷载箱。试桩 Z18 荷载箱分别布置在桩端上方 3m 和 17.98m 处,试桩 L22 荷载箱分别布置在桩端上方 7.36m 和 42.36m 处,试桩 Z28 荷载箱分别布置在桩端上方 3m 和 35m 处。进行加载时以荷载箱为分界,荷载箱分别对桩身上段和下段施加荷载。单个荷载箱采用 4 个电子位移计来监测荷载箱上下位移量的变化,其中 2 个用于监测荷载箱向上位移,2 个用于监测荷载箱向下位移。在钻孔灌注桩浇筑完水泥并成桩后 15d 开始进行现场静载测试,加载方式为慢速维持荷载法,每个荷载分级值为总预估加载值的 1/15,第一级按两倍的荷载分级值进行加载,加载完成后,按五个等级进行分级卸载。沿试桩桩身布置振弦式钢筋应力计对桩身变形进行监测,从而获得桩身位移和桩侧阻力。

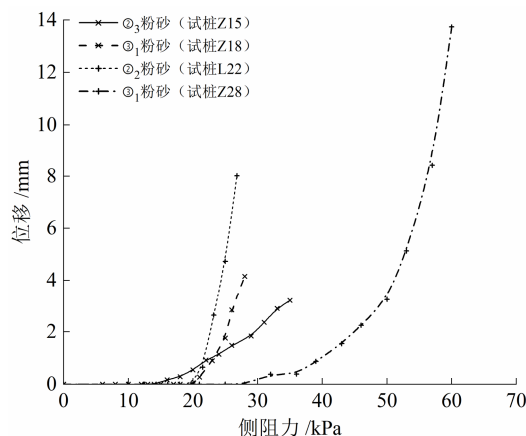


图1 粉砂层中试桩单位侧阻力-桩侧位移曲线

图1为4根试桩被选取的粉砂层中单位侧阻力-桩侧位移曲线图,图中展示了4根试桩在粉砂层中的桩侧荷载传递规律。由图1可知,粉砂层中试桩 Z15、Z18、L22 和 Z28 出现初始位移时,各试桩相应的单位侧阻力值分别约为 16、21、25 和 32kPa,这表明钻孔灌注桩直径越大则其在粉砂层中产生初始位移时所需的荷载值也越大。因此对于严格控制初始沉降的桥梁工程,建议在粉砂地层中尽量采用大直径钻孔灌注桩,这样可以有效阻止初始沉降的产生。当粉砂层中试桩 Z15、Z18、L22 的单位侧阻力约为 26kPa 时,各试桩相应的平均位移分别约为 1.5、2.8 和 8.0mm。试验结果表明产生初始沉降后的钻孔灌注桩若想发挥一定的单位侧阻力,其所需要的桩侧位移量随着桩径的增加而增加。试验结果也表明钻孔灌注桩桩径越大,反而其在粉砂层中的单位侧阻力发挥效果越差、发挥速度越慢,不利于对因荷载增加而产生的累计沉降进行控制。因此对于严格控制累计沉降量的桥梁工程,不建议在粉砂层中通过盲目加大桩径来减少累计沉降量,应根据现场试验反馈结果选定出一个合适的桩径。

图2为4根试桩在埋深 10~20m 粉细砂层中的单位侧阻力-桩侧位移曲线。图2中曲线与图1中曲线有着相似的变化趋势,这表明不同桩径对图2埋深 10~20m 粉细砂层中试

桩的桩侧荷载传递特性的影响规律与图1粉砂层相似。但在试验结果上图2和图1存在差异。例如图2埋深 10~20m 粉细砂层中试桩 Z15、Z18、L22 和 Z28 出现初始位移时,各试桩相应所需单位侧阻力值分别约为 22、36、36 和 46kPa,试验结果明显大于图1中同类数据,这可能是因为粉细砂层的密实度和力学性质要好于粉砂层。图2粉细砂层中试桩 Z15、Z18 和 L22 的单位侧阻力约为 44kPa 时,各试桩相应产生的平均位移分别约为 2.0、3.0 和 8.6mm。试验结果表明钻孔灌注桩在粉细砂土层中的初始沉降控制能力和累计沉降量控制能力好于粉土层。因此由图1总结出的有关钻孔灌注桩桩径的设计建议依旧适用于图2中的土层情况。

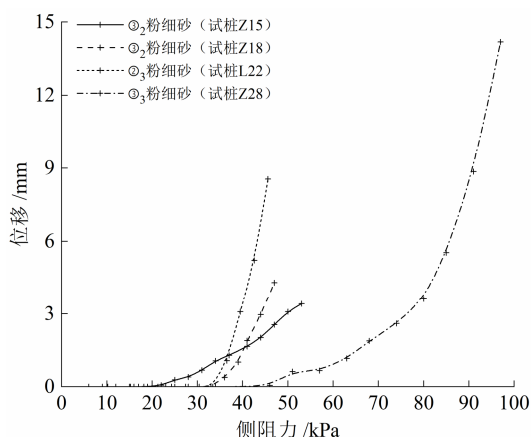


图2 埋深 10~20m 粉细砂层中试桩单位侧阻力-桩侧位移曲线

图3为4根试桩在埋深 20~30m 粉细砂层中的单位侧阻力-桩侧位移曲线。图3中曲线与图2中曲线开始出现差异。例如,图3中试桩 L22 曲线所表明的荷载传递特性较图2中试桩 L22 曲线有明显改善,而图3中试桩 Z18 和 Z28 曲线所表明的荷载传递特性较图2中试桩 Z18 和 Z28 曲线有恶化。

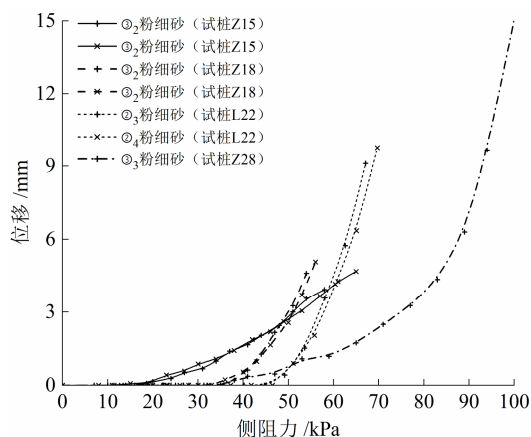


图3 埋深 20~30m 粉细砂层中试桩单位侧阻力-桩侧位移曲线

从具体数据上看,图3中试桩 Z15、Z18、L22 和 Z28 出现初始位移时,各试桩相应的平均单位侧阻力值分别约为 17.5、37、50 和 41kPa,试桩 L22 的数据明显优于图2中同类数据,但是试桩 Z15 和试桩 Z28 的数据明显劣于图2中同类数据,试桩 Z18 数据约等于图2中同类数据。图3粉细砂层中试桩 Z15、Z18 和 L22 的单位侧阻力约为 44kPa 时,

各试桩相应的平均位移分别约为 3.4、4.4 和 1.5mm, 相较于图 2 中同类位移数据, 图 3 中试桩 Z15 和 Z18 位移数据有所劣化, 而试桩 L22 位移数据则明显改善。试验结果表明在同一粉细砂层中, 随着土层埋深增加, 桩径偏小或偏大的钻孔灌注桩的桩侧荷载传递特性开始恶化。盲目加大桩径会降低桩基的初始沉降控制能力, 如试桩 Z28。桩径过小则会降低桩基的累计沉降量控制能力, 如试桩 Z15 和 Z18。只有桩径适中的钻孔灌注桩荷载传递特性有所改善或者保持不变, 如试桩 L22。因此笔者建议在设计建造埋深 20~30m 粉细砂层中的钻孔灌注桩时应避免将桩径设计过小或过大。

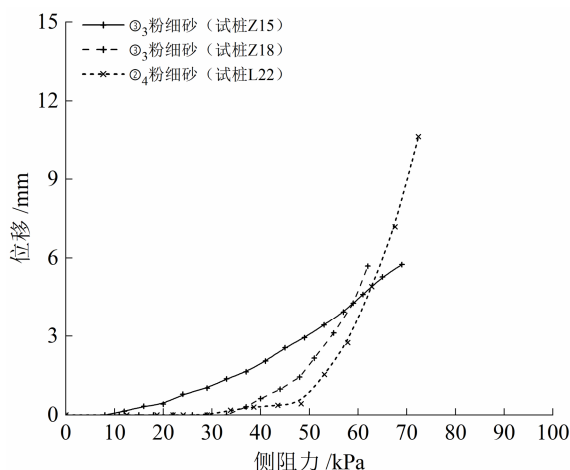


图 4 埋深 30~40m 粉细砂层中试桩单位侧阻力-桩侧位移曲线

图 4 为试桩在埋深 30~40m 粉细砂层中的单位侧阻力-桩侧位移曲线。由于仅试桩 Z15、Z18 和试桩 Z22 有埋深 30~40m 粉细砂层桩侧荷载传递数据, 因此文中对这 3 根试桩进行分析。图 4 中试桩 Z15、Z18 和 L22 出现初始位移时, 各试桩相应所需的单位侧阻力值分别约为 12kPa、37kPa 和 34kPa。对比图 3 中同类数据, 图 4 中试桩 Z15 和 L22 数据有所劣化, 试桩 Z18 数据保持不变。这进一步说明桩径过小或过大的试桩 Z15 和 L22 初始沉降控制能力随埋深增加而劣化, 而桩径适中的试桩 Z18 未出现初始沉降控制能力劣化现象。试验结果表明随着粉砂层深度增加, 最合适桩径尺寸逐步减小, 设计桩径过大或过小会导致钻孔灌注桩荷载传递特性恶化。图 5 为 4 根试桩在中风化岩层中单位侧阻力-桩侧位移曲线图, 图中展示了 4 根试桩在中风化岩层中的桩侧荷载传递规律。图 5 中试桩 Z15、Z18、L22 和 Z28 出现初始位移时, 各试桩相应的平均单位侧阻力值分别约为 23、122、32 和 137kPa。试验结果表明钻孔灌注桩在中风化岩层中产生初始位移时, 相应荷载值随着桩径增加表现为先增后减的规律。其中, 尽管试验场地甲中试桩产生初始位移时所需的荷载值随着桩径增加而增加, 但是对比试桩 Z18 和试桩 Z28 的数据来看, 桩径从 1.8m 增加到 2.8m 后侧阻力值从约 122kPa 仅增加到约 136kPa。当粉砂层中试桩 Z15、Z18、L22 和 Z28 的单

位侧阻力约为 178kPa 时, 各试桩相应产生的平均位移分别约为 6.5、0.5、13.3 和 0.3mm。试验结果表明中风化岩层中钻孔灌注桩桩径的盲目增加不能有效提升桩基的沉降控制能力, 反而会产生负面影响, 在中风化岩层中桩径适中的试桩 Z18 的设计是较为合理的。

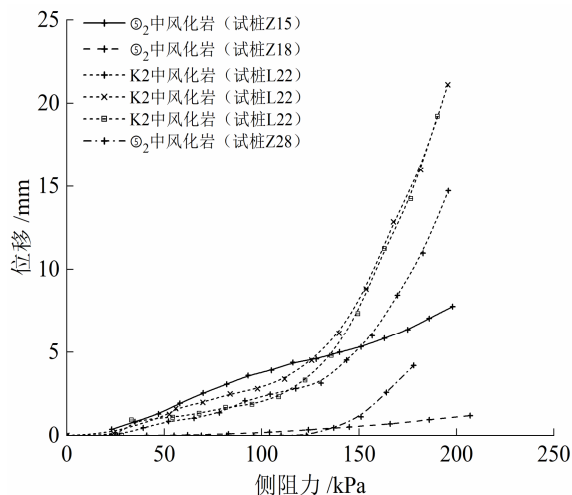


图 5 中风化岩层中试桩单位侧阻力-桩侧位移曲线

三、结论

(1) 对于严格控制累计沉降量的桥梁工程, 不建议在粉砂层中通过盲目加大桩径来减少累计沉降量, 应根据现场试验反馈结果选定出一个合适的桩径。

(2) 文中钻孔灌注桩在埋深 20~30m 和埋深 30~40m 粉细砂层中的合理设计桩径分别为 2.2m 和 1.8m, 桩径设计过小或过大会对桩基荷载传递特性产生负面影响。

(3) 文中钻孔灌注桩在中风化岩层中较为合理的设计桩径为 1.8m, 盲目增加中风化岩层中钻孔灌注桩的桩径, 不仅不能有效提升桩基的沉降控制能力反而会产生负面影响。

参考文献

- [1] 刘日东. 海洋环境超厚流塑地层钻孔灌注桩关键技术研究[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(9): 116-117.
- [2] 毛宗原, 何刚, 毛刚等. 临地铁全回转干成孔灌注桩承载力特性实例分析[J]. 建筑科学, 2021, 37(3): 131-137.
- [3] 商允虎, 牛富俊, 吴旭阳等. 多年冻土区钻孔灌注桩施工过程热力特性研究[J]. 铁道学报, 2020, 42(5): 127-135.
- [4] 刘乃飞, 李宁, 何敏等. 基于水-热-力耦合模型的钻孔灌注桩承载力影响因素分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(6): 1471-1478.
- [5] 陈志坚, 刘艳军. 超长灌注桩对桩周土挤密作用的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(12): 3277-3281.
- [6] 刘宁. 公路桥梁的钻孔灌注桩设计与施工技术研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2020.