

大直径超长钻孔灌注群桩基础关键技术研究

孟续东, 何武超

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 通过搜集近十几年来大直径超长钻孔灌注桩相关研究, 对其在荷载传递机理、承载力影响因素、群桩效应、沉降计算理论, 以及关键施工技术等方面进行系统的归纳与总结, 并将结论应用于实际工程设计当中。其研究成果对工程设计人员开展大直径超长钻孔灌注群桩基础的设计工作具有一定指导价值, 同时可以辅助科研人员开展相关的工作。

关键词: 大直径超长钻孔灌注桩; 荷载传递特性; 有效桩长; 尺寸效应; 群桩效应系数; 沉降计算理论

中图分类号: U443.15

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0096-03

1 国内研究现状

随着我国大型基础设施工程建设技术的发展, 钻孔灌注桩施工技术不断提高, 在软土地区大直径超长钻孔灌注桩被越来越多地用于大型重要工程当中。然而, 当前国内主要设计规范计算理论依然是基于常规桩长的小直径桩基础, 国内学者已开始了针对大直径超长钻孔灌注桩方面的研究, 并以荷载试验与有限元数值分析为手段, 研究了包括超长钻孔灌注桩侧阻与端阻发挥机理、极限承载力下荷载与位移曲线、大直径桩基础尺寸效应、群桩基础沉降计算理论等, 并考虑了土层特性与埋深、桩底注浆、长径比影响、桩底沉渣厚度、持力层等因素。

2 荷载传递特性

大直径超长钻孔灌注桩的定义无统一标准, 建筑业一般以桩径大于 0.8 m, 桩长大于 60 m 界定, 桥梁行业则把大桩径定义为大于 2.5 m 的桩基础。根据试验研究成果, 大直径超长桩基础桩极限侧阻力与桩端极限承载力并非同步发挥, 存在异步性。该特性受到与土层特性、土层埋深、桩端沉渣厚度、持力层特性、桩径、长径比、桩身弹模等因素影响。

桩土间相对位移是产生桩身侧阻的基本传力机制^[1]。由于土层特性不同, 桩身侧阻的极限承载力发挥存在差异, 砂性土发挥极限侧阻承载力所需位移明显大于粘性土。根据试验研究^[2], 砂性土层在 22 ~ 27 mm 范围达到极限位移, 而浅层黏性土则在 6 ~

17 mm 范围达到极限位移。

土层埋深对其极限侧阻发挥特性影响很大^[3], 由于超长桩为非刚性桩, 根据荷载试验研究成果, 上层土体桩身侧阻先于下层土体发挥至极限, 并在达到极限侧阻之后, 发生剪切破坏, 侧阻减弱, 出现侧阻软化现象^[4]。

桩端阻力的发挥滞后于桩侧极限侧阻力, 两者相互耦合, 在较小沉渣厚度的条件下, 其 Q-S 曲线呈加工硬化型^[2]。桩端沉渣厚度对下部桩身侧阻力、端阻力发挥影响明显, 较厚的沉渣将导致桩端刺入型破坏^[3]。沉渣的“软垫”效应对桩端阻力影响不大, 但明显增加下部桩身侧阻力发挥需要的位移。在实际工程中, 一般严格控制沉渣厚度, 并采用桩端后注浆的方式, 减少沉渣影响, 可明显提高桩身承载力。

长径比越大, 端阻占比越小, 桩顶荷载很难传递至桩端, 即长径比达到一定值, 桩端阻力将不再发挥作用^[4], 其特征为深度效应^[5]。基于以上结论, 业界部分人士提出“有效桩长”这一概念, 并区别于已普遍达成共识的散体材料桩的有效桩长^[5-6]。对于混凝土桩土来讲, “有效桩长”仅为相对概念, 绝对意义并不存在。其定义从荷载传递角度讲, 即当桩长超过一定深度, 桩长增加不能提高竖向承载力; 从位移变形角度讲, 桩长增加基本上不能减小桩基沉降。“有效桩长”的计算方法目前尚不明确, 但其研究对于设计规范的研究具有一定意义。

大直径桩基尺寸效应对桩侧阻力的影响主要表现为, 大直径桩基较厚泥浆护壁泥皮, 以及大直径机械钻进导致土体松弛从而降低了土体桩侧摩阻力。于此同时, 桩端土土体开挖后处于超固结状态, 导致土

收稿日期: 2020-09-14

作者简介: 孟续东(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程设计工作。

体反弹而强度降低,桩端极限承载力降低^[5]。

较大的桩身弹模有利于桩体下部桩身侧阻力的发挥^[7],但是较大桩土刚度比增大,会使群桩基础基桩分布越发不均与,呈现外侧桩荷载大^[8],内侧桩分担荷载小的趋势明显,整体群桩基础沉降增大^[9]。

根据以上荷载传递特性,可以看出传统静力计算公式并不符合超长桩的实际荷载传递机理,而在实际设计与应用中,多是以通过增加桩径与桩长、选用坚硬的持力层以达到提高桩基承载力和减小桩基础沉降的目的,并弥补规范公式中对大直径超长钻孔灌注桩荷载传递机理考虑的不足。

3 桩径、桩长、桩间距与群桩效应系数

群桩基础周围边桩与承台内部桩受力差别大,且荷载分担比例不同,呈现群桩效应。于此同时,侧阻发挥次序不同,边桩与单桩类似,从桩顶开始发挥,而内桩则是从桩底开始发挥,边桩侧摩阻力明显大于内桩,当边桩达到桩周土极限承载力而发生破坏时,内侧桩侧摩阻力并没有充分发挥^[8]。

进一步分析可知,桩数增加、桩间距减小、桩长增加、桩径增大将使群桩系数减小。一般来讲,超长钻孔灌注桩间距大于10D,可不计群桩效应系数^[10]。

群桩效应系数的计算方法有很多,目前常用的方法有:(1)考虑群桩实体基础周边长的方法;(2)Converse-Labre 群桩效应系数法;(3)Seiler-Keeney 群桩效应系数法;(4)考虑承台、桩、土相互作用分项群桩效应系数法;(5)考虑应力叠合的群桩效应系数法。而基于地基土应力叠加的群桩效应系数法能够综合考虑桩数、桩长、桩径、桩距及其土层特性,适合于超长直径钻孔灌注桩群桩效应系数的技术^[11]。

现行规范大多是以概念布桩设计提出桩间距要求,达到便于简化计算并忽略群桩效应,从而留给工程更多安全储备。

4 沉降计算理论

目前国内主流规范群桩基础沉降计算采用等代实体深基础理论,即采用外围桩外侧边缘连线构成的面积为荷载作用面,选用桩端土为计算起始土层,采用等效分层总和法计算压缩土层沉降,区别在于沉降计算修正系数、桩端面的附加应力和压缩土层的计算深度的确定方法不同。

美国桥梁设计规范采用荷载与抗力系数设计法

计算沉降,荷载作用面积同样取外围桩面积,等效基础底面调整至桩入土深度的2/3处,该规范考虑了桩身弹性压缩量。

通过以上计算理论分析,并结合大直径超长钻孔灌注群桩基础自身特点,超长桩将不能视作刚体,沉降应充分考虑桩身压缩变形。同时,软土地基中大型群桩基础承台对土层施加的附加应力作用对于沉降计算将转变为主要控制因素,不可忽略。

基于以上分析,仍然采用 Boussinesq 解,并综合考虑桩身压缩,以及承台底土的附加应力向下扩散作用影响着群桩计算方法被提出^[12-13]。该计算方法与试验数据比较接近,说明该方法能够较好地适应大直径钻孔灌注群桩基础的沉降计算。于此同时,超长桩桩端持力层高应力状态下的压缩模量的取值是导致计算沉降与实际沉降偏差较大的重要原因。

5 施工工艺与技术

软土地基上的超长大直径群桩基础往往需要穿越较厚的软塑和流塑状土层,到达较硬的岩石持力层,选用合理的钻孔设备和成孔工艺是顺利成孔的难点。大直径超长钻孔灌注桩多采用气举反循环成孔,钻杆分为气举和泵吸两种形式。

对于钻具的选择,采用四翼笼式刮刀钻头在淤泥层中成孔效果较好,在卵石层及基岩中宜采用焊齿滚刀钻头。当穿越卵石、漂石层时,刮刀式钻头易发生卡钻和堵管,从而使钻进速度放慢,降低钻进效率。根据宁波某工程施工经验,可改用干抓或湿抓的方式穿越卵石或漂石层,在工程条件允许下,也可加大钻机功率并增加配重以提高破碎能力,增进钻进效率。由于冲击钻成孔周期长,清孔难度大,钢丝绳易断裂,孔底沉渣厚度难以控制,因此对于超长大直径钻孔灌注桩,应慎用冲击钻。对于基岩均匀的土层可采用旋挖钻成孔,但应注意避免斜面基岩导致斜孔,可采取的主要控制措施有加设先导圈、改进刀头形式、增加配重和增设导向等。

6 工程案例

通过以上对大直径超长钻孔灌注桩荷载传递机理、群桩效应、桩基础沉降计算及施工关键技术分析与总结,应用于宁波某一特大型桥梁。该桥主跨400 m,采用矮塔斜拉桥方案,跨径布置为64 m+86 m+400 m+86 m+64 m,采用塔梁固结,塔墩分离的连续梁结构受力体系。中跨主梁采用钢箱梁结构,

边跨为叠合梁,桥面宽 29 mm,采用 V 型钢塔单索面设计。

根据地质详勘报告,拟建场地 25 m 以上浅层以海积相淤泥质土和粉、砂性土为主,属于典型软土地层,承载力在 50~65 kPa 之间,压缩性高,地质条件差;埋深 60 m 以下深部土层工程性质较好,埋藏适中,可作为桥梁工程桩基持力层。

结合大桥总体分析计算及场地地质条件,大桥基础的总体概念设计考虑施工、工程造价等因素,以差异沉降为主要控制因素确定单桩承载力安全系数,进行不同桩径,不同持力层等方案比选,并最终选定主墩采用 2.0 m 桩径大直径,平均桩长为 90 m 超长钻孔灌注桩群桩基础,桩径比 45,以碎石为持力层。边墩及辅助墩桩径 1.5 m,桩长 80 m,桩径比 53:1,以中粗砂为持力层。

根据静载试验报告,主桥桩基础承载力能力较为充足,差异沉降能够满足规范要求,试验结果如表 1 所列。

表 1 单桩竖向抗压静载荷试验主要成果一览表

桩号	桩径 /mm	桩长 /m	最大试 验荷载 /kN	沉降量 /mm	回弹量 /mm	回弹率 /%	极限 承载力 /kN
PM23-6	1 500	80	13 600	14.21	5.62	39.5	不小于 13 600
PM24-29	2 000	90	25 500	16.02	9.95	62.1	不小于 25 500
PM25-5	2 000	90	25 500	14.29	4.93	34.5	不小于 25 500

6 结 语

大直径超长钻孔灌注桩越来越多地被应用于大型建筑工程,以及桥梁工程当中,其荷载传递机理不

同于普通常规桩基础,现行主流规范设计已明显不再适用。工程设计师应结合工程经验,综合考虑大直径超长钻孔灌注桩的荷载传递特征等多种影响因素,重视概念设计,以达到既满足设计使用需求,同时也能降低基础工程造价的目的。

参考文献:

- [1] 张帆,龚维明,戴国亮.大直径超长灌注桩荷载传递机理的自平衡试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(4):464-469.
- [2] 赵春风,李俊,邱志雄,赵程,邹豫皖.广东地区大直径超长钻孔灌注桩荷载传递特性试验研究[J].岩土力学与工程学报,2015,34(4):549-855.
- [3] 辛公锋,张忠苗,夏唐代,陈张林.高荷载水平下超长桩承载性状试验研究[J].岩土力学与工程学报,2005,24(13):2397-2403.
- [4] 赵明华,邹新军,刘齐建.洞庭湖软土地区大直径超长钻孔灌注桩竖向承载力试验研究[J].土木工程学报,2004,37(10):63-67.
- [5] 程晔,龚维明,戴国亮,季杰.超长直径钻孔灌注桩桩端承载力研究[J].南京航空航天大学学报,2007,39(3):407-411.
- [6] 曾友金,章为民,王年香,徐光明.基桩有效长度几个问题探讨[J].岩土力学,2003,24:529-534.
- [7] 张忠苗,辛公锋,夏唐代.深厚软土非嵌岩超长桩受力性状试验研究[J].土木工程学报,2004,37(4):64-69.
- [8] 王俊杰,朱俊高,吴寿昌.大规模超长群桩基础工作性能的数值模拟[J].岩土力学,2008,29(3):701-706.
- [9] 吴鹏,龚维明,梁书亭,朱建民.考虑桩土滑移和整体刚度动态调整的群桩分析方法[J].岩土工程学报,2007,29(2):225-230.
- [10] 戴国亮,戴永兴,刘云忠,龚维明.超长钻孔灌注桩群桩效应系数研究[J].土木工程学报,2011,44(10):107-112.
- [11] 邓友生,龚维明,袁爱民.超长直径钻孔灌注桩群桩效应系数研究[J].重庆建筑大学学报,2007,29(6):84-97.
- [12] 邓友生,龚维明,袁爱民.超长直径群桩沉降计算方法探讨[J].铁道学报,2007,29(4):87-90.
- [13] 赵春风,鲁嘉,孙其超,诸茗,李尚飞.大直径超长钻孔灌注桩分层荷载传递特性试验研究[J].岩土力学与工程学报,2009,28(5):1020-1026.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com