

不同土质下预制方桩沉桩承载力特性分析*

臧德记^{1,2}, 汪 滨^{1,2}, 蒋华忠³

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024;
2. 水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210024; 3. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 对沿海地区某码头预制方桩沉桩过程进行监控。结果表明, 打桩时由于桩周土扰动剧烈, 桩的贯入阻力大幅减小, 粉质土贯入阻力降低比例高于粉砂。复打测试表明: 粉质土的恢复系数较粉砂高; 桩侧摩阻力与土层性质密切相关。在沉桩时可根据土层情况选用合适的打桩锤击力, 以减小或避免对桩的不利影响。

关键词: 预制桩; 沉桩; 承载力; 高应变

中图分类号: U 655. 55 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)12-0157-04

Bearing capacity performance during sinking and driving monitoring of precast piles

ZANG De-ji^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, JIANG Hua-zhong³

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;
2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210024, China;
3. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The driving process of prefabricated piles of a wharf in coastal areas is monitored. The result shows that due to the soil's severe disturbance around the pile, the penetration resistance of pile is greatly reduced, and that of silty soil is higher than that of silty sand. The redriving test shows that the coefficient of restitution of silty soil is larger than that of silt, and kin friction along the pile is closely related to the pile side soil properties. Appropriate piling hammer shall be chosen according to the soil condition during pile-driving to reduce or avoid the adverse effects on the pile.

Keywords: prefabricated pile; pile driving; bearing capacity; high strain

1 工程概况

在临海、河地区码头建设中一般采用预制桩作为基础, 它具有生产成本较低^[1-2]、配筋率小、直径小、比表面积大、单方混凝土承载力大、施工效率高、便于水面上施工等优点。常见的预制桩有预应力钢筋混凝土桩、预应力管桩、钢管桩、钢管混凝土管桩等^[3-4]。

沿海地区某新建码头吨位为 5 万 t, 共 5 个泊位, 采用高桩板梁式码头结构, 钢筋混凝土预制

方桩作为基础, 桩长 39 ~ 50 m, 桩截面 650 mm × 650 mm, 采用 12.5 t 柴油锤沉桩, 设计单桩竖向抗压极限承载力为 6 000 kN。对该预制方桩在沉桩过程中的承载力进行监测, 并做了复打承载力的检测, 通过初、复打分析该地区预制桩的沉桩特点和土层恢复系数, 以及该预制方桩的承载力特性。

2 工程地质条件

该码头工程土层地质条件见表 1。

收稿日期: 2015-05-17

*基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (Y414002)

作者简介: 臧德记 (1981—), 男, 博士研究生, 工程师, 从事水工结构研究工作。

表 1 工程地质条件

土层名称	土性描述	标贯击数 N /击
①淤泥	灰-灰褐色，流塑状，高塑性，土质不均匀，混有粉土团，局部含砂斑及碎贝壳，夹粉土薄层	<1.0
② ₁ 淤泥质粉质黏土	褐灰-灰褐色，软塑状，中-中上塑性，夹砂斑及碎贝壳，局部夹粉土团和粉土薄层	2.2
② ₂ 淤泥质黏土	褐灰-灰褐色，软塑状，高塑性，土质不均匀，夹砂斑及碎贝壳，混多量粉土团	2.4
③ ₁ 粉质黏土	灰褐-灰黄色，可塑状，中塑性，土质不均匀，含粉土团，夹粉土薄层	8.3
③ ₂ 粉土	灰褐-灰黄色，稍密-密实状，混多量粉质黏土。该层分布连续，层厚 0.6 ~ 3.1 m	20.5
③ ₃ 粉细砂	浅黄-灰黄色，密实状，局部稍密-中密状，土质均匀，局部夹粉土薄层，混少量黏粒	45.8
④粉质黏土	黄褐-灰褐色，可塑状，中塑性，混多量粉土团，局部夹粉土薄层	10.3
⑤黏土	灰褐色，可塑状，高塑性，混多量粉土团，局部夹粉土薄层	8.9
⑥ ₁ 粉土	灰黄色，密实状，局部中密状，局部夹粉质黏土薄层，混少量姜石	46.1
⑥ ₂ 粉质黏土	黄褐色，硬塑状，中-中上塑性，夹多层黏土、粉土、粉砂夹层，局部含多量姜石	19.4
⑥ ₃ 粉砂	灰黄色，密实状，局部为中密状，局部夹粉质黏土薄层，含少量姜石	49.7
⑥ ₄ 粉土	灰黄色，密实状，局部中密状，局部夹粉质黏土薄层，混多量姜石	47.6
⑦粉质黏土	灰褐-黄褐色，硬塑状，中-中下塑性，土质不均匀，混多量粉土，局部含多量碎贝壳，夹多层粉土、黏土薄层	17.5
⑧粉土	灰黄-灰绿色，密实状，土质不均匀，含碎贝壳及少量姜石，局部混多量粉细砂	48.3
⑨粉质黏土	青灰-黄褐色，硬塑状，中-中下塑性，土质不均匀，含少量粉土及少量姜石	34.0

该码头工程近岸部分(A区)土层相对较软，桩尖位于⑥₄粉土层，桩长 48 ~ 50 m；远离海岸土层相对较硬(B区)，桩尖位于⑥₃粉砂层，桩长 39 ~ 44 m。

3 预制方桩的打桩监控

高应变检测的基本原理是在桩顶轴向施加一个冲击力，使桩产生足够的贯入度，实测由此产生的桩身质点应力和加速度的响应，通过波动理论分析，判定单桩竖向抗承载力及桩身完整性的检测方法^[1,5-6]。高应变检测法是建筑、交通等行业规范推荐的方法，是检测桩基承载力方便、快捷的方法^[7]。为获得预制桩在沉桩时的力学特点和沉桩后承载力，在沉桩时和沉桩后一段时间分别进行了高应变反射波法的监测。

3.1 预制方桩沉桩过程的承载力特性

沉桩至设计高程 1 ~ 2 m 时，停锤，安装高应变传感器。安装完毕后，高应变法监测沉桩最后 1 ~ 2 m 桩的承载力特性。对 2 种桩尖土层的桩进行沉桩过程监控。监测发现：开始几锤承载力较高，随后承载力迅速下降，5 ~ 10 锤以后降到最小，其后基本保持不变（图 1）。最大承载力一般在第 2 ~ 5 击出现，这是因为在安装传感器间隙，扰动的土层得到一定程度的恢复，暂时处于稳定状态。开始打桩后，在柴油锤的打击下，周围土层开始扰动。最初几锤，周围土层扰动程度相对较小，土层对桩的贯入阻力相对较大。随着桩的

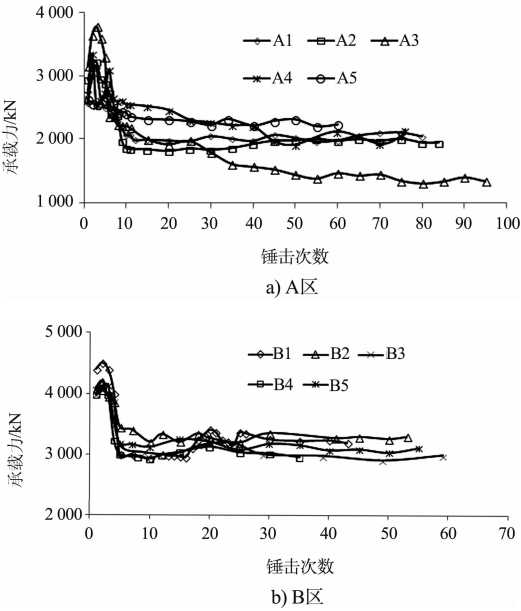


图 1 A、B 区预制桩沉桩监控结果

贯入，周围土层逐渐变为完全扰动，土层对桩的贯入阻力减小为基本不变的一个稳定数值。A 区预制桩沉桩监测中平均峰值承载力约 3 219 kN，稳定后的平均值为 2 000 kN，平均稳定值比峰值小 37.5%；B 区峰值平均值为 4 194 kN，稳定后的平均值为 3 200 kN，平均稳定值比峰值小 21.9%。A 区地质条件下，预制桩沉桩过程中打桩监控的承载力下降的比例要大于 B 区。这是因为 A 区总体上土质偏软，黏性大于 B 区，预制桩在锤击力作用下，桩周土层在完全扰动后，土层与桩壁之间的粘结力几乎完全丧失，只有一部分摩擦力起

作用,而粉砂土层本来粘结力就小,主要是摩擦力阻碍桩的贯入,因而粉土与粉质黏性土层桩的承载力下降得更多。

3.2 桩基承载力监测

由于沉桩时土体受到扰动,桩周土体与桩之间摩阻力减小,因此初打桩时实测的静阻力较小。经过一定时间的休止,桩周土体恢复或接近恢复到原来的强度,故休止后对桩复打时所测得极限承载力能反映桩承载力的实际情况^[8]。

复打测试结果显示,A区预制桩承载力平均值为6 392 kN,恢复系数 1.99;B区预制桩承载力平均值为 6 484 kN,恢复系数 1.55。显然粉土恢复系数大于粉砂的恢复系数,说明粉土在沉桩扰动后的桩周土贯入阻力下降幅度更大。

复打测试的结果同时也显示:A区5根预制桩的侧阻力平均值为5 491 kN,占承载力的86%;端阻力平均值为901 kN,占承载力的14%。B区5根桩的侧阻力平均值为4 732 kN,占承载力的73%;端阻力平均值为1 752 kN,占承载力的27%。显然,桩尖处于砂性土的桩端阻力更大,侧阻力相对小一些。

由图2、3可知,桩的摩阻力与土层密切相关:土层硬的,摩阻力较大;反之,摩阻力偏小。

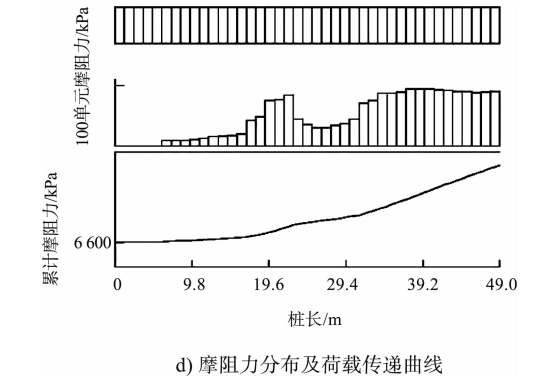
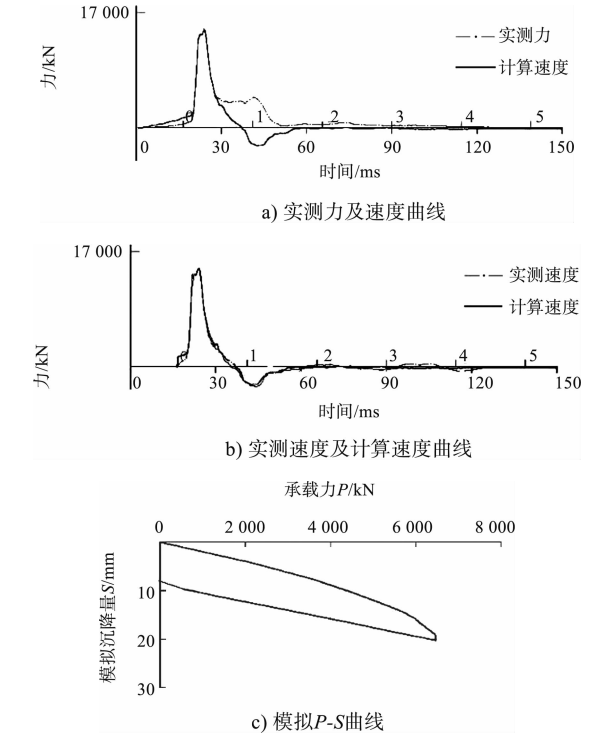


图 2 A3 桩复打拟合法计算结果

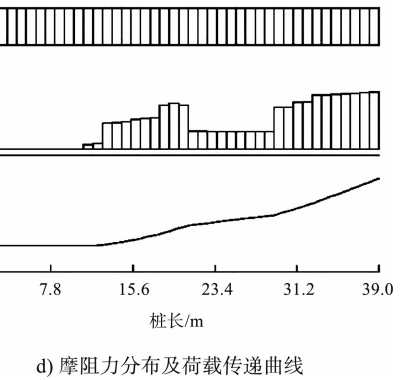
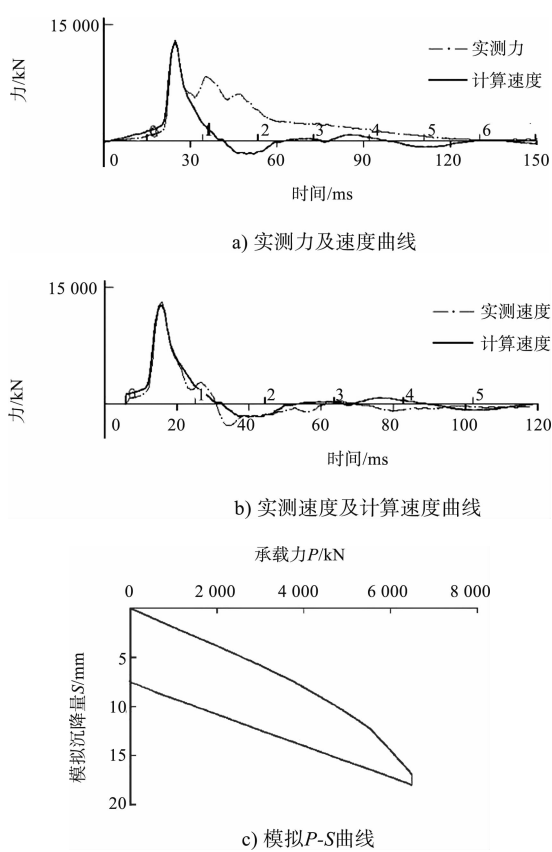


图 3 B5 桩复打拟合法计算结果

4 结语

1) 在预制方桩沉桩时,振动使桩周土层扰

动,随着土层扰动的加剧,贯入阻力急剧下降,随后达到一个相对稳定的数值;

2) 不同土层,预制方桩沉桩贯入阻力下降幅度是不同的,其中粉土类比粉砂下降的幅度更大;

3) 不同土层,端、侧阻力对预制方桩最终承载力的贡献也不同,其中粉砂比粉土的端阻力占比高,侧阻力占比低;

4) 不同土层,恢复系数也有差别:黏粒含量高的土层,恢复系数偏大;粉砂土恢复系数较小。

因此在沉桩过程中,可根据不同的土质条件,选用合适的锤击力,可以降低成本,同时防止因过大的锤击力对桩造成不利的影响。

参考文献:

[1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

~~~~~

(上接第 152 页)

3) 真空预压加固的深度为真空负压水头与阻力水头平衡点,在该点以下的孔隙水不能排出,则真空预压处理深度达到极限。

4) 真空预压加固在塑料排水板的底深度以下 1.5 m 范围内仍有一定的加固效果,具体见 17.8 m 深度处加固前后物理力学参数对比,其中排水板底深度约为 16.5 m。

参考文献:

[1] 焦淑贤. 真空预压法在广州南沙港区特殊地基上的应用[J]. 水运工程,2003(10):55-58.  
[2] 葛安定,李学艳. 直排式真空预压法在天津港地基处理工程中的应用[J]. 港工技术,2012(1):61-64.  
[3] 陈成辉,吴贵明. 真空预压法在机场场道深层地基处理

~~~~~

(上接第 156 页)

4 结论

绘图验算法适宜确定嵌岩桩的桩长,并进行简单的碰桩验算;基于编程的公式验算法适宜嵌岩桩的精确验算,并可得出桩基的最小净距及相应的点坐标;结合以上两种方法,可满足嵌岩桩碰桩验算的设计和施工需求,从而有效降低工程的风险。

参考文献:

[1] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].

[2] 黄丹. 基于桩-土相互作用的码头桩基承载力分析[D]. 武汉:华中科技大学,2009.
[3] 刘俊龙. 砾卵石层中预制桩的承载力特性研究[J]. 岩土力学,2008,29(5):1 280-1 286.
[4] 曹胜敏. 高桩码头桩竖向荷载作用下静动力学行为研究[D]. 成都:西南交通大学,2008.
[5] 李素华,杨位洸. 预制桩竖向承载性能设计理论研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(2):256-261.
[6] Martin R E, James J S, Graydon W, et al. Concrete pile design in tidewater virginia[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1987(6):568-585.
[7] JTJ 249—2001 港口工程桩基动力检测规程 [S].
[8] 张继红,顾国荣,陈晖. 上海地区预制桩承载力时间效应的统计分析与研究[J]. 土木工程学报,2002,35(4):98-102.

(本文编辑 郭雪珍)

中的应用[J]. 施工技术,2008,37(S1):117-120.
[4] 岑仰润. 真空预压加固地基试验及理论研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.
[5] 吴春勇. 真空联合堆载预压软土路基稳定控制欲沉降预测 [D]. 长春:吉林大学,2007.
[6] 高志义. 真空预压法的机理分析[J]. 岩土工程学报,1989,11(4):45-56.
[7] 高志义,张美艳,刘立钰,等. 真空预压加固的离心模型试验研究[J]. 港口工程,1998(3):45-50.
[8] 闫澍旺,傅海峰,刘润,等. 真空预压机理模拟装置及典型示范结果[J]. 天津大学学报,2005,38(7):611-614.
[9] 闫澍旺,侯晋芳,程栋栋. 真空预压有效加固深度的探讨[J]. 水力学报,2007,38(7):774-778.

(本文编辑 郭雪珍)

[2] 张国权,胡国锋,郭慧玲. AutoCAD 2008 中文版应用教程[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
[3] 陈枕南. 考虑沉桩允许偏差影响时碰桩验算的方法[J]. 水运工程,2001(1):54-56.
[4] 刘保柱,苏彦华,张宏林. MATLAB 7.0 从入门到精通 (修订版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
[5] 张世昌. 相邻斜桩最小间距计算[J]. 水运工程,1989(1):31-34.

(本文编辑 武亚庆)