

新沂城区超密砂层预制桩桩端阻力的取值探讨

孙君

(常州市规划设计院,常州 213000)

摘要: 新沂城区埋深16~23 m范围内分布的超密砂层,地区预制桩桩基参数通常按建筑桩基技术规范经验法取值,一般也不进行破坏性试桩静载检测,桩基设计布桩偏密加剧了工程桩沉桩困难、桩身上涌、基桩阻力损失等桩基施工问题。基于静载试验,通过对该超密砂层单桩极限端阻力 q_{pk} 的反分析,初步给出了该超密砂层 q_{pk} 的取值区间,为地区该超密砂层作为预制桩桩端持力层时的桩基参数建议及桩基优化设计提供一定的借鉴。

关键词: 超密砂层;桩基参数;桩端阻力;静载荷试验;新沂城区

中图分类号: P642;TU473 **文献标识码:** A

DISCUSSION ON THE VALUE OF PILE TIP RESISTANCE OF PREFABRICATED PILE IN SUPER-DENSE SAND LAYER IN XINYI DISTRICT

SUN Jun

(Changzhou City Planning and Design Institute, Changzhou Jiangsu 213000, China)

Abstract: The super-dense sand layer is distributed in the buried depth of 16~23 m in the Xinyi district. The parameters of the prefabricated pile foundation are usually taken according to the empirical method of the technical code for building pile foundation, and the static load test of the destructive test pile is generally not carried out. The design of the pile foundation is too dense, which aggravates the difficulties of pile sinking, pile upwelling, pile resistance loss and other pile foundation construction problems. Based on the static load test, through the back analysis of the ultimate tip resistance q_{pk} of the single pile in the super dense sand layer, the value interval of q_{pk} of the super-dense sand layer is preliminarily given, which provides some reference for the pile foundation parameter suggestion and pile foundation optimization design when the super-dense sand layer is used as the bearing layer of the prefabricated pile tip.

Key words: super-dense sand layer; pile foundation parameters; tip resistance of pile; static load test; Xinyi district

1 前言

新沂城区位于沭河西岸,地势平坦而开阔,地面略有起伏,东北部略高于西南部,地貌单元单一。埋

深80~90 m内岩性以新生界为主。其中,第四系厚度约50 m,多以砂层和黏性土交替分布,第三系厚度约30 m,下伏基岩为白垩系王氏组紫红色砂岩^[1]。

其中埋深 23 m 范围内分布多层高阻力超密砂层,双桥静探 q_c 平均约 25~33 MPa,土性较均匀,状态极好。而新沂城区采用预制桩时,由于超密砂层埋深较浅,其作为预制桩桩端持力层的破坏性试桩静载检测资料相对较少,故勘察提供的桩基参数多按建筑桩基技术规范^[2]中的经验参数法取值,特别是桩端阻力取值明显偏于保守,不能真实反映出超密实砂层的桩端承载特性,与之对应的单桩承载力计算结果也偏低,在无破坏性试桩静载资料的支持下,桩基设计往往布桩偏密,加剧了工程桩沉桩穿越困难、桩身上涌导致桩端与持力层接触松弛甚至脱空等一系列问题,引发基桩阻力损失、基桩承载力降低等风险^[3-8]。

目前,预制桩桩端阻力除采用根据规范取值外,多通过增做高应变检测方式估测^[9-12]。本文结合新沂城区典型项目,针对新沂城区常作为预制桩持力层的埋深 16~23 m 段超密砂层,通过对常规的抗拔和抗压静载试验结果综合分析,对超密砂层中预制桩单桩承载力起主导作用的桩端阻力取值进行了探索,挖掘其作为预制桩桩端持力层的承载潜力,为

预制桩桩端阻力取值提供借鉴和参考。

2 工程地质特性分析

典型工程项目位于新沂城区新安街道,地貌类型属于沂沭丘陵-平原区的冲积平原,第四系地层以砂土和黏性土为主。根据《岩土工程勘察规范》(DGJ32/TJ 208-2016)附图 E. 0. 1《沂沭丘陵第四纪晚更新世(Q₃)地层出露或浅埋区分布图》^[13],场地位于 Q₃ 地层出露或浅埋区。Q₃ 沉积土层埋深浅,第四系全新统(Q₄)沉积土层分布于约 4 m 以浅(如表 1 中①层),第四系上更新统(Q₃)及以前沉积土层一般分布于约 4 m 以下(如表 1 中②₁层及以下土层)。23 m 内分布的超密砂层为③层细中砂、⑤层中砂、⑦层中粗砂,其中⑦层中粗砂为预制桩设计桩端持力层(ZH-50 实心方桩,桩顶标高 22.25 m,桩端标高 10.25 m)。土层基本物理力学性质指标如表 1,由于场地土层层位均匀,选取典型剖面如图 1,以此反映场地大致土层分布。

表 1 基本物理力学性质指标统计平均值

层号	土名	状态或密实度	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	$\omega/\%$	e_0	I_P	I_L	E_S/MPa	q_c/MPa	f_s/kPa
①	填土	稍密	19.4	25.7	0.765	12.8	0.50	6.4	1.3	52
②	粉质黏土	可塑	19.5	27.5	0.778	13.9	0.54	6.6	3.3	68
③	细中砂	密实	19.3	20.1	0.671	—	—	23.3	20.1	181
④	粉质黏土	可塑	19.8	25.2	0.728	15.4	0.32	9.5	4.7	94
⑤	中砂	密实	19.3	19.0	0.652	—	—	30.3	26.9	210
⑥	黏土	硬塑	19.9	25.1	0.722	17.6	0.23	11.8	4.9	129
⑦	中粗砂	密实	19.3	18.9	0.651	—	—	37.0	33.1	218
⑧	粉质黏土	可塑	19.8	24.9	0.728	15.4	0.30	9.8	7.3	157
⑨	中粗砂	密实	19.5	18.4	0.622	—	—	34.9	30.6	332

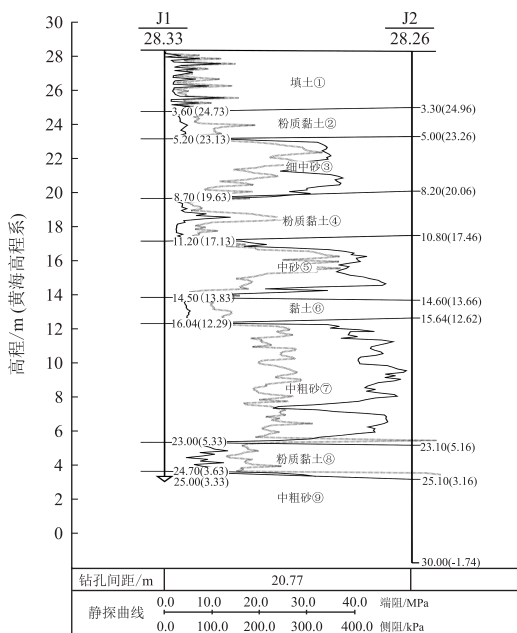


图 1 工程典型剖面图

3 预制桩桩基参数的选择与对比

新沂地区预制桩桩基参数通常参照桩基规范中的经验参数法,据土名和土的状态结合规范表 5.3.5 进行桩侧阻力和桩端阻力取值,按式(1)估算单桩竖向极限承载力标准值,符号意义见桩基规范第 5.3.5 条。

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (1)$$

除该取值方法外,桩基规范中尚提出原位测试法估算单桩极限承载力:对于黏性土、粉土和砂土,如无当地经验时,可根据双桥静力触探资料按式(2)确定混凝土预制桩单桩极限承载力标准值,其中 $\beta_i \cdot f_{si}$ 相当于式(1)中桩侧阻力 q_{sik} , $\alpha \cdot q_c$ 相当于式(1)中桩端阻力 q_{pk} ,符号意义见桩基规范第 5.3.4 条:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum l_i \cdot \beta_i \cdot f_{si} + \alpha \cdot q_c \cdot A_p \quad (2)$$

2016 年颁布实施的江苏省岩土工程勘察规范,提供了我院基于常州地区地层建立的双桥静力触探测试指标估算桩基承载力的经验关系,并建议其他地区参照使用时,应结合静载荷试验验证。但该经验关系是基于常州地区土性双桥静探和静载荷试验统计回归得出的同一土层桩侧、桩端阻力与静力触探摩阻力 f_s 、锥尖阻力 q_c 近似线性关系,统计范围 f_s 在 5~180 kPa, q_c 在 1.4~15.0 MPa 之间,而本项目⑦层中粗砂 q_c 平均约 33.1 MPa, f_s 平均约 218 kPa,均在江苏省岩土工程勘察规范最大桩侧和桩端阻力取值对应的双桥静力触探测试指标最高值范围外。根据上式(2)及相关文献^[14]所述同一土层桩侧阻力、桩端阻力与静探测试指标 q_c 、 f_s 多呈线性或类线性关系,故基于江苏省岩土工程勘察规范密实砂层按 q_c 、 f_s 外延进行桩侧和桩端阻力取值。

以典型工程为例,对预制桩单桩承载力计算所涉②~⑦层土,分别参照建筑桩基技术规范中的经验参数法(表中简称“经验法”)、建筑桩基技术规范中的双桥静力触探原位测试法(表中简称“静探法”)和江苏省岩土工程勘察规范按 q_c 、 f_s 外延取值法(表中简称“外延法”),进行预制桩桩基参数对比,如表 2。

表 2 预制桩参数取值对比表

层号	土名	预制桩桩基参数					
		极限侧摩阻力 q_{sk} /kPa			极限端阻力 q_{pk} /kPa		
		经验法	静探法	外延法	经验法	静探法	外延法
②	粉质黏土	67	67	68			
③	细中砂	92	88	102			
④	粉质黏土	80	78	81			
⑤	中砂	95	96	112			
⑥	黏土	97	89	96			
⑦	中粗砂	106	98	115	7 500	16 500	22 000

基于以上预制桩参数 3 种不同取值结果,以图 1 中 J1、J2 号孔为例,估算单桩抗压承载力值如表 3。

表 3 单桩抗压承载力估算值对比表

估算孔号	估算 ZH-50 实心方桩单桩抗压承载力极限值 Q_{uk} /kN (桩顶 22.25 m~桩端 10.25 m)/桩长 12 m								
	经验法			静探法			外延法		
	Q_{sk}	Q_{pk}	Q_{uk}	Q_{sk}	Q_{pk}	Q_{uk}	Q_{sk}	Q_{pk}	Q_{uk}
J1	2 240	1 875	4 115	2 159	4 125	6 284	2 444	5 500	7 944
J2	2 245	1 875	4 120	2 170	4 125	6 295	2 464	5 500	7 964

表 4 试桩信息表

桩号	桩型	桩顶标高/m	桩端标高/m	桩端持力层	有效桩长/m	加载方法	最大加载值
KB-SZ1~KB-SZ4	ZH-50(C30)	22.25(黄海)	10.25(黄海)	⑦层	12	慢速维持荷载法	加载至桩破坏(或土破坏)
1-SZ1~1-SZ4、3-SZ1、3-SZ2	ZH-50(C50)						

通过对预制桩桩基参数 3 种取值方法计算所得单桩抗压承载力进行分析可知:单桩总极限侧阻力标准值相差不大,极差在 13% 以内;而总极限端阻力因桩基参数中的极限端阻力 q_{pk} 取值不同导致计算结果差异极大,外延法所得总极限端阻力接近经验法的 3 倍,其单桩抗压承载力极限值接近经验法的 2 倍;由计算结果根据承载性状分类,按经验法基桩类型为摩擦型桩(端承摩擦桩),按静探法和外延法基桩类型为端承型桩(摩擦端承桩)。为了明确基桩实际受力性状和进一步验证桩基参数选取的合理性,极限端阻力 q_{pk} 的取值至关重要。

4 静载验证和分析

为验证桩基参数,尤其是极限端阻力 q_{pk} 的合理取值区间,选取典型工程场地布置的 4 根抗拔试桩(桩号 KB-SZ1~KB-SZ4),6 根抗压试桩(桩号 1-SZ1~1-SZ4、3-SZ1、3-SZ3),具体位置详见图 2,试桩信息如表 4。

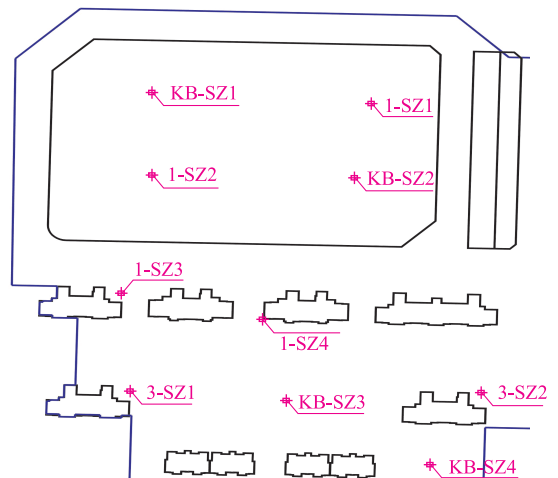


图 2 试桩平面位置

单节预制桩锤击进入⑦层中粗砂后结合压桩力终止沉桩。试桩施打完毕满足休止期要求后,进行了单桩竖向抗压和抗拔静载试验,抗拔加载值超过 420 kN 后每级按 70 kN 加载,抗压加载值超过 2 800 kN 后每级按 400 kN 加载,结果汇总如表 5,桩长 12 m 的 4 根抗拔桩承载力检测值均为 1 750 kN,抗压极限承载力检测值均为 8 050 kN。由于场地土层分布均匀,为简化分析,视场地抗压和抗拔桩为针对同一地层检测。

表5 试桩静载结果汇总表

桩号	极限承载力/kN	备注
KB-SZ1	1 750	
KB-SZ2	1 750	抗拔
KB-SZ3	1 750	
KB-SZ4	1 750	
1-SZ1	8 050	
1-SZ2	8 050	
1-SZ3	8 050	
1-SZ4	8 050	
3-SZ1	8 050	
3-SZ2	8 050	

由单桩抗拔极限承载力标准值计算公式:

$$T_{ik} = \sum \lambda_i \cdot q_{sik} \cdot u_i \cdot l_i \quad (3)$$

对于等周长桩来说,公式(3)即为公式(4):

$$T_{ik} = \sum \lambda_i \cdot Q_{ski} \quad (4)$$

Q_{ski} 为桩侧分层极限侧阻力标准值,其他符号意义详见桩基规范第 5.4.6 条,其中抗拔系数 λ 对于砂土取 0.5~0.7,对于黏性土、粉土取 0.7~0.8。进一步的,将式(4)中极限侧阻力按砂土和黏性土分开,并假定桩身范围内砂土总侧阻为黏性土总侧阻的 m 倍,则式(4)变为式(5):

$$T_{ik} = \lambda_{砂} \cdot m \cdot Q_{sk砂} + \lambda_{黏} \cdot Q_{sk黏} \quad (5)$$

将式(5)代入式(1),则 q_{pk} 表达为式(6):

$$q_{pk} = [Q_{ik} - (m+1)T_{ik} / (\lambda_{砂} m + \lambda_{黏})] / A_p \quad (6)$$

对于抗拔、抗压检测结果及 m 值为定值情况下, $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 取低值时,对应的 q_{pk} 取值为下限值; $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 取高值时,对应的 q_{pk} 取值为上限值。

为了获得 m 值,将表 3 中总极限侧阻力标准值 Q_{sk} 分解为砂土极限侧阻力标准值 $Q_{sk砂}$ 和黏性土极限侧阻力标准值 $Q_{sk黏}$, m 值即为 $Q_{sk砂} / Q_{sk黏}$,如表 6 所示, m 值最大值和最小值极差约 17%, m 值建议取其平均值 2.52。

表6 砂土和黏性土侧阻力及 m 值计算表

估算 ZH-50 实心方桩单桩抗压承载力极限值 Q_{ik} / kN (桩顶 22.25 m~桩端 10.25 m)/桩长 12 m									
估算孔号	经验法			静探法			外延法		
	$Q_{sk砂}$	$Q_{sk黏}$	m	$Q_{sk砂}$	$Q_{sk黏}$	m	$Q_{sk砂}$	$Q_{sk黏}$	m
J1	1 562	678	2.30	1 505	654	2.30	1 743	701	2.49
J2	1 627	618	2.63	1 580	591	2.67	1 803	661	2.73

将 m 、 T_{ik} 、 Q_{ik} 、 A_p 值代入式(6), $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 分别取低值 0.5、0.7 时,对应 q_{pk} 下限值为 19 628 kPa; $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 分别取低值 0.7、0.8 时,对应 q_{pk} 上限值为 22 590 kPa;故 q_{pk} 取值大致在 19 628~22 590 kPa 之间时,与实际检测结果更为接近。

5 结语

基于新沂城区典型工程勘察和桩基静载资料,对浅部 16~23 m 深度段的超密砂层进行了工程地质特性分析、预制桩桩基参数反分析,提出如下说明和建议:

(1) 从静载结果看,该深度段的超密砂层,状态极好,尤其作为预制桩桩端持力层时,其端承特性显著,桩端阻力对单桩承载力的贡献大。

(2) 初步分析,桩端土层刚度越大,上部桩侧土体位移起到阻滞约束作用,致使桩端附近土体围压增加,土体抗剪强度得到加强,会表现为桩端附近阻力存在增强效应。

(3) 从静载检测反算的极限端阻力 q_{pk} 取值区间看,对于该超密砂层, q_{pk} 按建筑桩基技术规范中的经验参数法进行取值,明显过于保守;按建筑桩基技术规范中的静力触探法取值,尚存在一定的安全储备;江苏省岩土工程勘察规范密实砂层按 q_c 、 f_s 外延进行 q_{pk} 取值,与实际检测结果更为接近。

(4) 超密砂层按照不同规范和方法,预制桩极限端阻力 q_{pk} 最大和最小取值之间的比值可能高达约 3 倍。仅按建筑桩基技术规范中的经验参数法进行取值和一味按单桩承载力计算值主控、不作破坏性试桩的桩基设计方法,往往导致桩基设计经济性差,同时还会带来沉桩穿越困难等一系列桩基施工问题。故提供合理的桩基参数建议、进行破坏性试桩静载荷试验验证和调整桩基参数,更有利于优化桩基设计。

(5) 本文中砂土总侧阻与黏性土总侧阻的比值 m 是通过计算结果统计得出的,作为实际砂土、黏性土桩侧受力分担情况的假定;抗拔系数 $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 采用建筑桩基技术规范建议取值范围的最大和最小值参与反分析,而建筑桩基技术规范 $\lambda_{砂}$ 、 $\lambda_{黏}$ 是根据全国部分城市抗拔试验结果并参照有关规范给出的,具有统计包络性但更加宽泛,故得出的 q_{pk} 取值区间范围相应也稍大,精确度稍差。

参考文献

- [1] 李瑞璐,张大其,祁玉岭.江苏省新沂市规划区场地条件研究[J].地震学刊,1991,(4):25-31.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑桩基技术规范(JGJ94-2008)[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 刘应龙.有较厚砂层地质条件下的PHC预应力管桩施工技术分析研究[J].中外建筑,2011,26(4):91-93.
- [4] 谷雪影,黄天荣,富秋实,等.预制桩沉桩挤土效应研究综述

- [J]. 中国水运, 2022, 22(3): 147-149.
- [5] 李小破. 挤土桩在深厚砂层中的挤密效应对邻桩施工的影响分析[J]. 广东科技, 2013, 22(2): 81-88.
- [6] 郭东, 王建华, 范怡飞. 桩靴贯入砂土层时邻近桩挤土压力分析[J]. 水利水运工程学报, 2019, 12(5): 91-100.
- [7] 孙茂良. 挤土桩施工可能引起的工程地质问题及防治对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 10(4): 38-40.
- [8] 杨宇星. 关于“和平花园”静压预应力管桩施工的技术、质量探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 11(4): 41-43.
- [9] 王辉熠, 朱帆. 深厚粉砂持力层中预制桩基承载力参数的取值探讨[J]. 工程建设与设计, 2019, 16(22): 36-39.
- [10] 崔杨, 黄海波, 邹进慧. 密实砂层中桩端阻力特征值的确定[J]. 工业建筑, 2019, 39(S1): 837-841.
- [11] 全成才, 施忠良. 极密实粉细砂层大直径钢管桩桩基参数分析[J]. 水运工程, 2019, 35(1): 199-202.
- [12] 应亦凡, 熊良宵. 大直径桩承载特性的研究进展评述[J]. 地质灾害与环境保护, 2014, 25(2): 104-112.
- [13] 江苏省住房和城乡建设厅. 岩土工程勘察规范(江苏省)(DGJ32/TJ 208-2016)[S]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2016.
- [14] 刘俊伟. 静压开口混凝土管桩施工效应试验及理论研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 浙江, 2012.

作者简介: 孙君(1983—), 男, 汉族, 江苏扬州人, 注册土木(岩土)工程师, 主要从事岩土工程勘察及相关工作。

E-mail: sunjun_czpad@163.com

《地质灾害与环境保护》征稿启事

本刊主管单位: 四川省教育厅; 主办单位: 成都理工大学、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室。学术性期刊, 季刊。1990年9月创刊, 国内外公开发行人。本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”, “万方数据网络系统(ChinaInfo)数字化期刊群”, “中文科技期刊数据库”。欢迎投稿, 欢迎订阅。

征稿内容: 自然灾害(特别是地质灾害)与人为灾害防治, 生态环境、资源环境和地质环境保护, 水文地质与工程地质, 岩土工程与工程勘察, 与本学科有关的边缘和交叉学科等方面的优秀论文, 最新科技成果, 新理论、新方法、新技术研讨, 及工程技术经验总结, 新成就、新动向方面的综述、述评, 新书刊、新设备评介等。

来稿注意事项: (1) 每篇稿件一般以中文6 000字为宜, 最多不超过8 000字(包括图表等所占版面字数)。(2) 每篇稿件必须有: 中英文篇名、摘要(摘要以第三人称书写, 200字左右)、图表名, 所在单位中英文名称; 第一作者简介, 主要包括: 姓名、性别、出生年、职务、职称, 最高学历、专业、研究方向, 主要科技成果及其获奖情况, 以及出版专著、发表论文等简况。(3) 来稿请交电子文档, 另可附打印件1份, 可电子邮件投稿, 地址: dzzh@cdut.edu.cn。

《地质灾害与环境保护》编辑部

2023年12月25日