

· 施 工 ·



冲积黏土对格型钢板桩振沉施工的影响

李海泉, 陈 健

(中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 格型钢板桩在黏土的施工过程中, 地质环境和施工工艺的影响因素会因钢板桩锁扣之间的拉力过大而导致施工困难。结合港珠澳大桥香港口岸人工岛项目的格型钢板桩施工进行分析, 给出根据项目 CPT 试验结果进行施工难度分析的量化指标, 为类似工程的施工提供借鉴。

关键词: 格型钢板桩; 振冲; 冲击性黏土

中图分类号: U 655.55[†]1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0159-03

Impact of alluvium clay on vibration construction of cellular sheet pile

LI Hai-quan, CHEN Jian

(China Harbor Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: During construction of the cellular sheet pile in clay, great difficulty is occasionally met because of the interlocking forces between the sheet piles surges when cellular sheet piles penetrate into specific geological layer such as the hard clay. This paper presents a new method to evaluate the impact of alluvium clay on cellular sheet pile construction based on HKBCF project. A new parameter based on CPT tests is applied to determine the difficulty of penetrating process of sheet piles. The results may serve as reference for similar engineering construction.

Keywords: cellular sheet pile; vibration; the impact of alluvium clay

港珠澳大桥香港口岸人工岛 (HKBCF) 是港珠澳大桥香港连接线的一个重要组成部分, 位于香港赤腊角机场东北侧, 经过赤腊角机场连接屯门及大屿山, 占地面积为 $149.68 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。工程现场软土地基深厚, 因紧邻大屿山, 地层起伏较大。由于环保要求, 人工岛区域原有的一层 15~27 m 厚的海泥未挖除。设计采用大直径格型钢板桩岛壁结构, 在不挖除海泥的情况下, 采用碎石桩进行地基加固。

工程主要内容为: 海堤、陆域回填和箱涵施工安装 3 部分。其中海堤总长度为 6 296 m, 主要结构为格型钢板桩直立堤。

格型钢板桩结构在国外应用的工程实例较多^[1-2], 尤其是日本应用较为广泛, 如关西机场、长崎机场、神户人工岛等, 以及国内的广州南沙码头工程、苏通大桥主桥墩支护等。本工程与以往工程相比, 格型钢板桩施工采用现场逐根拼插和

施打工艺。最大直径为 31.194 m, 深度 25~45 m, 无论在长度还是直径方面都创造了世界纪录。

1 格型钢板桩施工范围内的地质条件

现场海床高程从 -2.5 m 到 -10 m 不等, 海水深度普遍在 4~12 m, 水下是 11~28 m 非常软的海相淤泥层, 淤泥层下才是较好的冲积土层 (冲积黏土层和冲积砂土层)。土层强度指标见表 1。

2 冲积黏土对格型钢板桩振沉施工的影响

项目现场的土层主要由海相淤泥、冲积土砂层和冲积土黏土层组成。其中, 由于海相淤泥含水率高、强度低, 格型钢板桩下沉相对容易, 在此不做论述。重点说明钢板桩在顶部振动锤激振力作用下、在冲积土砂层和冲积土黏土层中的振沉施工的机理。表 2 为格型钢板桩在冲积土砂层和冲积土黏土层中振沉施工的机理对比。

收稿日期: 2015-04-08

作者简介: 李海泉 (1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口工程施工管理工作。

表1 土的物理力学指标

指标	密度/(t·m ⁻³)			排水剪切强度 C'/kPa			不排水剪切强度 C _u		土体压缩模量/MPa	固结系数 C _v /(m ² ·a ⁻¹)	
	海相淤泥	冲积土	风化岩	海相淤泥	冲积土(黏土)	冲积土(砂)	海相淤泥	冲积土(黏土)	冲积土	海相淤泥	冲积黏土/冲积粉土
设计值	1.50	1.90	1.90	4(φ'=24°)	7(φ'=26°)	0(φ'=35°)	1+1.1z	2+1.3z	0.9z-1	0.67	1.50

注: z 为土层厚度。

表2 格型钢板桩在冲积土砂层和冲积土黏土层中振沉施工的机理对比

冲积土类别	土层强度 q _c /MPa	土层结构特点	振沉驱动力来源	振沉过程中的阻力	振沉过程中是否液化	摩擦系数改变	摩擦力改变及对比
冲积土砂土层	1~20	土颗粒之间没有粘聚力, 土体强度来源于土颗粒之间相互接触产生的摩擦力, 土体越密实, 强度越高	钢板桩顶部振动锤激振力以及钢板桩自重	砂层对钢板桩的摩擦力	由于土颗粒之间没有粘聚力, 钢板桩的高频振动使得周围的砂层发生液化, 土颗粒漂浮在孔隙水中, 大大降低了砂层与钢板桩表面的摩擦系数	由于液化, 大幅度下降	液化后的冲积土砂层对钢板桩的摩擦力要远远小于其没有液化时的摩擦力, 也远远小于冲积土黏土层对钢板桩的摩擦力
冲积土黏土层	0.5~2.5	土颗粒之间有很强的粘聚力, 这也是土体强度的主要来源		黏土层对钢板桩的摩擦力	土颗粒之间有很强的粘聚力, 钢板桩的高频振动无法使周围的黏土层发生液化, 黏土层与钢板桩表面的摩擦系数变化不大	变化不大	

从表2的对比可知, 由于土体结构的不同, 冲积土砂层在格型钢板桩振动下沉的过程中会出现液化, 导致其对钢板桩的摩擦阻力大幅度下降, 远小于冲积土黏土层对钢板桩的摩擦力。所以, 在整个

钢板桩振沉过程中, 阻力主要来源于冲积土黏土层。

2.1 地质资料分析

表3给出了已经施工的11个主格仓进入冲击土土层厚度和强度信息。

表3 已施工完成格型钢板桩主格仓进入冲击土深度范围内土层信息

主格仓编号	冲击土层底高程/m			冲击土层平均顶高程/m	ARUP终孔底高程/m	进入冲积土的平均深度/m	冲积土中砂土		冲积土中黏土	
	CPT1	CPT2	CPT3				厚度/m	锥尖阻力 q _c /MPa	厚度/m	锥尖阻力 q _c /MPa
K28	-15.9	-18.2	-16.8	-17.0	-28	11.0	4.3	13.90	6.8	1.83
K31	-18.8	-20.3	-21.2	-20.1	-30	9.9	2.4	12.90	7.5	1.23
K34	-17.0	-16.5	-17.7	-17.1	-23	5.9	1.3	11.76	4.6	1.22
K38	-15.1	-15.4	-16.0	-15.5	-26	10.5	3.2	2.64	7.3	1.39
K39	-15.5	-14.4	-14.8	-14.9	-27.5	12.6	1.0	5.98	11.6	1.64
K41	-16.3	-17.0	-16.5	-16.6	-28	11.4	0.9	6.81	10.5	1.74
K45	-18.5	-19.4	-17.0	-18.3	-26	7.7	1.3	4.37	6.4	0.96
K46	-19.7	-22.8	-26.3	-22.9	-30	7.1	1.4	7.15	5.7	1.38
K49	-19.0	-23.7	-22.5	-21.7	-30	8.3	1.3	12.59	7.0	1.06
K55	-20.5	-19.0	-19.5	-19.7	-28	8.3	0.3	4.96	8.0	1.45
K56	-23.8	-23.3	-21.0	-22.7	-30	7.3	1.5	2.69	5.8	1.64

2.2 格型钢板桩主格仓进入冲积土内砂层厚度与强度分布

图2为已施工格型钢板桩主格仓进入冲积土内砂层厚度与强度的分布。从图2可知, 无法振沉到

底高程的格型钢板桩主格仓 K41、K39 无论在砂层厚度还是在强度方面与其他大多数主格仓相比都小, 说明由于在振沉过程中的砂层液化作用, 冲积土砂层的强度、厚度对格型钢板桩的振沉施工影响很小。

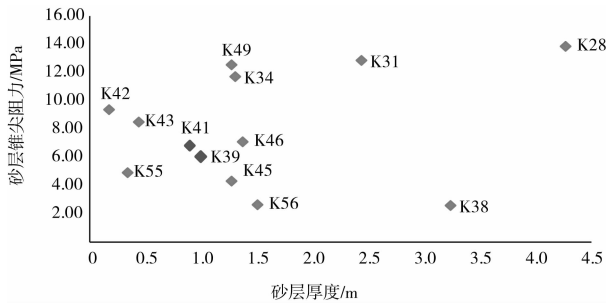


图 2 已施工格型钢板桩主格仓进入冲积土内砂层厚度与强度分布

振动, 导致钢板桩在施工过程中发生很大偏位, 钢板桩之间的锁扣拉力过大, 无法振沉到指定高程, 判断标准见表 4。

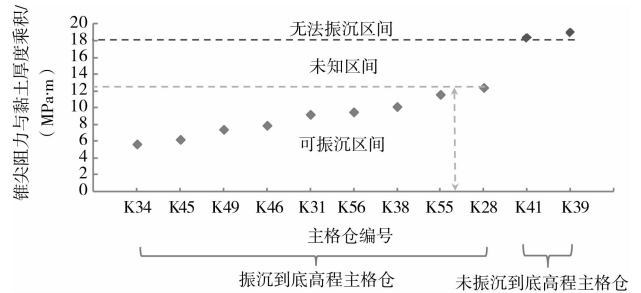


图 3 已完成主格仓施工分析

2.3 格型钢板桩主格仓在冲积土黏土层受力分析

根据以上分析可知, 主格仓在冲积土层中振沉主要承受黏土层对钢板桩的摩擦力。根据 de Ruiter 和 Beringen^[3] 提出的在黏土层中桩的单位表面摩擦力 f_s 的计算方法:

$$f_s = \alpha S_u \quad (1)$$

式中: $\alpha = 1$ 为正常固结黏土; $\alpha = 0.5$ 为超固结黏土; S_u 为黏土的不排水抗剪强度。

Senneset 等^[4] 提出用有效锥尖阻力 q_e 估算黏土的不排水抗剪强度 S_u :

$$S_u = \frac{q_e}{N_{ke}} \quad (2)$$

式中: N_{ke} 为常数, 取值范围在 9 ± 3 。

综合式(1)和式(2), 桩的单位表面摩擦力 $f_s = \alpha S_u$ 按照式(3)计算:

$$f_s = \alpha \cdot \frac{q_e}{N_{ke}} \quad (3)$$

格型钢板桩在冲积土黏土层受到的总摩擦力 F 按式(4)计算:

$$F = f_s A = \alpha \cdot \frac{q_e}{N_{ke}} \cdot BH \quad (4)$$

式中: B 为振沉的钢板桩宽度, H 为钢板桩进入冲积土黏土层的厚度。在钢板桩宽度 B 为定值的情况下, 总摩擦力 F 取决于 $q_e H$, 也就是冲积土黏土层的锥尖阻力与钢板桩进入冲积土黏土层厚度的乘积。

根据表 2 中的数值得到施工完成的主格仓冲积土黏土层的锥尖阻力与格仓进入冲积土黏土层厚度的乘积 (图 3)。

由图 3 可知, 主格仓冲积土黏土层的锥尖阻力与其厚度的乘积达到一定值时, 钢板桩顶部振动锤在克服黏土对其摩擦力的过程中产生很大的

表 4 格型钢板桩施工设备极限能力的标准

判断标准	冲积土黏土层的锥尖阻力与其厚度的乘积 $q_e H / (\text{MPa} \cdot \text{m})$
无法振沉到底高程	> 18.3
待定区域	12.4 ~ 18.3
可振沉到底高程	≤ 12.4

3 结论

结合现场观测数据, 分析格型钢板桩在不同地质条件下 (冲积黏土和冲积砂土) 的振沉机理; 根据现场静力触探试验结果, 通过公式推导和受力分析, 得到钢板桩施工难度分析的量化指标。

格型钢板桩成套技术在装备水平、设计能力及工程应用能力等方面都有了较大的发展, 积累了各种复杂地质条件下的工程经验。本文总结了在深厚黏土层的工程应用经验, 为高效、节能、环保地进行围海造田提供新的思路。

参考文献:

- [1] Wissmann K, Filz G, Mosher R, et al. Sheet pile tensions in cellular structures[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2003, 129(3): 224-233.
- [2] Jahren T. Reliability comparison for sheet-pile cellular structures[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 1990, 4(4): 216-235.
- [3] Puitter J, Beringen F L. Pile foundation for large North Sea structures[J]. Marine Geotechnolgy, 1979, 3(3): 267-314.
- [4] Senneset K, Ja bu N, Svano G. Strength and deformation parameters from cone penetration tests[C]//Proceedings of the 2nd European symposium on Penetration Testing, ESOPT-II, Amsterdam, Rotterdam: Balkema Pub, 1982: 2 863-2 870.