



挤密砂桩在地基抗液化中的应用

钟展兴

(广东省航运规划设计院有限公司, 广东 广州 510050)

摘要: 针对在砂土地基上修筑直立式护岸的稳定问题, 以海口市某填岛工程为例, 研究了挤密砂桩在直立式护岸地基抗液化中的应用。地基液化指数计算表明: 在砂土地基上修建直立式护岸, 施打挤密砂桩是必要的且可行的, 挤密砂桩可有效增加砂土的密实度, 消除砂土的液化。现场试验检测也证明通过挤密砂桩处理过的砂土地基满足抗液化要求, 能保障直立式护岸的稳定。

关键词: 直立式护岸; 稳定; 砂土液化; 挤密砂桩

中图分类号: U 656.3; TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0158-05

Application of compaction sand piles in foundation anti-liquefaction

ZHONG Zhan-xing

(Guangdong Province Planning & Design for Water Transportation Co., Ltd., Guangzhou 510050, China)

Abstract: For the stability of the vertical revetment constructed on sand foundation, an island filling project in Haikou city is elected to research the application of compaction sand piles in the vertical revetment foundation anti-liquefaction. The calculations on the foundation liquefaction index indicate that it is necessary and feasible to pile compaction sand piles when constructing vertical revetment on sand foundation, and that compaction sand piles can increase the density of sand and eliminate sand liquefaction. Meanwhile, the results of field tests also prove that the sand foundation processed with compaction sand piles meets the anti-liquefaction requirements, and can guarantee the stability of the vertical revetment.

Keywords: vertical revetment; stability; sand liquefaction; compaction sand piles

海口市某填岛工程, 采用直立式护岸结构, 位于砂质地基上, 表层约7~10 m 粉细砂。该场地地震设防烈度为8度(0.3g), 场地普遍处于中等液化及严重液化区。为保护岸结构的安全稳定, 必须对地基进行抗液化处理。

可用于土层液化的方案有大开挖、碎石桩、挤密砂桩等。本工程考虑到液化层间断且埋深变化较大, 会造成开挖施工的不便, 打设碎石

桩又会造成用石量的增加, 而采用挤密砂桩则有成熟的施工经验和较好的处理效果, 故采用挤密砂桩进行处理。

挤密砂桩法在地基中的作用包括挤密作用、振密作用。在成桩过程中, 在砂土中沉入桩管时, 对其周围产生很大的横向挤压力, 桩管将地基中等于桩管体积的砂挤向桩管周围土层, 使其孔隙比减少、密度增加。桩管振动能量以波的形式在

收稿日期: 2016-03-01

作者简介: 钟展兴(1987—), 男, 工程师, 从事港口航道设计工作。

地基土中传播,引起地基土振动,产生振密作用。在成孔和成桩过程中,一方面桩周土在水平和垂直振动力作用下产生径向和竖向位移,使桩周土体密实度增加;另一方面土体在反复振动作用下产生液化,液化后土颗粒在上覆土压力、重力和填料挤压力作用下,土颗粒重新排列、组合,形成更加密实度状态,从而提高桩间土的抗剪强度和抗液化性能^[1]。

因此,采用一定置换率的挤密砂桩一方面可以有效地改善地基下卧土的密实度,配合护岸结构与回填的压重,消除和改善下卧土的液化现象;另一方面遇到地震发生时,砂桩的存在可以加速护岸结构下卧土孔隙水压力的消散,从而不降低土的抗剪强度,确保护岸结构的安全。

1 计算分析原理

首先分析需将标贯击数提高至多少能消除或改善液化程度,进而分析挤密砂桩需达到的置换率。

根据 JTS 146—2012 《水运工程抗震设计规范》,满足下式时应判定为液化土。

$$N_{63.5} < N_{cr} \quad (1)$$

式中: $N_{63.5}$ 为未经杆长修正的饱和土标准贯入锤击数实测值; N_{cr} 为液化判别标准锤击数临界值。

地面下 20 m 深度范围内,液化判别标准锤击数临界值可按下式计算^[2]:

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{\frac{3\%}{M_c}} \quad (2)$$

式中: N_{cr} 为液化判别标准锤击数临界值; N_0 为液化判别标准锤击数基准值; β 为调整系数; d_s 为饱和土标准贯入点深度(m); d_w 为地下水位在地面以下的深度(m),当地面位于水下时, d_w 取 0; M_c 为黏粒含量百分率,小于 3% 或为沙土时,取 3%。

建筑物建造后和建造前的地面高程和地下水位有较大变化时,式(2)中各项应采用建成后的相应值且标准贯入击数可按下式修正:

$$N'_{63.5} = N_{63.5} \cdot \frac{d'_s + d'_w + 7.8}{d_s + d_w + 7.8} \quad (3)$$

式中: $N'_{63.5}$ 为建筑物建成后的饱和土标准贯入锤击修正值; $N_{63.5}$ 为未经杆长修正的饱和土标准贯入锤击数实测值; d'_s 为建筑物建成后的饱和土标准贯入点深度(m); d'_w 为建筑物建成后的地下水位深度(m); d_s 为饱和土标准贯入点深度(m); d_w 为地下水位在地面以下的深度(m),当地面位于水下时, d_w 取 0。

每个钻孔的液化指数按下式计算,并按表 1 综合划分地基的液化等级。

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{cri}} \right) d_i W_i \quad (4)$$

式中: I_{LE} 为液化指数; n 为在判别深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数; N_i 、 N_{cri} 分别为 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值,当实测值大于临界值时取临界值; d_i 为 i 点所代表的土层厚度(m),可采用该标准贯入试验点相邻的上下两标准贯入试验点深度差的一半,但上界不高于地下水位深度,下界不深于液化深度; W_i 为 i 土层单位土层厚度的层位影响权函数值(m^{-1}),当该层中点深度不大于 5 m 时采用 $10 m^{-1}$,等于 20 m 时采用零值,大于 5 小于 20 m 时按线性内插法取值。

表 1 液化等级与液化指数的对应关系

液化等级	轻微	中等	严重
液化指数 I_{LE}	$0 < I_{LE} \leq 6$	$6 < I_{LE} \leq 18$	$I_{LE} > 18$

2 计算分析

计算分析见表 2。

采用式(1)~(4)进行分析,结果表明,单靠结构与回填的压重不能消除液化或减轻液化程度,需进行地基处理以提高土层的标贯击数。

从表 2 可知,将泥面下约 9 m 砂土内的标贯基数提高到 16 击以上,可将严重液化层改善为轻度液化层^[3],此时地基承载力亦满足上部结构的承载力要求。

表2 计算分析

条件	N	N_0	β	d_s/m	d_w/m	M	N	N_{cr}	d_i/m	W_i/m^{-1}	$1-N_i/N_{cr}$	单点液化指数	I_{LE}
护岸结构修筑前, 未进行地基处理	5	16	0.8	2.45	0	3		13.93	3.70	10.0	0.64	23.72	
	9	16	0.8	4.95	0	3		19.17	2.50	9.2	0.53	12.20	
	12	16	0.8	7.45	0	3		22.87	2.50	7.5	0.48	8.90	55.24
	16	16	0.8	9.95	0	3		25.74	2.65	6.0	0.38	6.01	
	18	16	0.8	12.75	0	3		28.34	3.65	3.3	0.36	4.39	
护岸结构修筑后, 未进行地基处理	5	16	0.8	11.95	5	3	12.07	21.24	3.70	10.0	0.43	15.97	
	9	16	0.8	14.45	5	3	19.23	23.29	2.50	9.2	0.17	4.00	
	12	16	0.8	16.95	5	3	23.41	25.04	2.50	7.5	0.65	1.22	21.21
	16	16	0.8	19.45	5	3	29.07	26.59	2.65	6.0	0.00	0.00	
	18	16	0.8	22.25	5	3	30.07	28.13	3.65	3.3	0.00	0.00	
护岸结构修筑后, 已进行地基处理	16	16	0.8	11.95	5	3	38.63	21.24	3.70	10.0	0.00	0.00	
	16	16	0.8	14.45	5	3	34.19	23.29	2.50	9.2	0.00	0.00	
	16	16	0.8	16.95	5	3	31.21	25.04	2.50	7.5	0.00	0.00	0.00
	16	16	0.8	19.45	5	3	29.07	26.59	2.65	6.0	0.00	0.00	
	18	16	0.8	22.25	5	3	30.07	28.13	3.65	3.3	0.00	0.00	

3 置换率计算及方案

为提高砂土层的标贯击数, 采用挤密砂桩调整砂土的孔隙比。

本工程砂土层粒径 < 75 μm, 细颗粒含量平均约为 $F_c = 16.55$, 根据 JGJ 79—2012 《建筑地基处理技术规范》:

$$e_1 = e_{max} - D_r(e_{max} - e_{min}) \quad (5)$$

式中: e_1 为地基挤密后要求砂土达到的孔隙比; e_{max} 、 e_{min} 为砂土的最大、最小孔隙比; D_r 为地基挤密后要求砂土达到的相对密实度。

根据 Mizuno Y 等对细颗粒含量 F_c 进行相关研

究得出的如下经验公式^[4], 可估算粉土或砂土的最大孔隙比 e_{max} 与最小孔隙比 e_{min} :

$$e_{max} = 0.02F_c + 1.0 \quad (6)$$

$$e_{min} = 0.008F_c + 0.6 \quad (7)$$

计算得 e_{min} 为 0.601 32, 另外, Meyerhof 根据 Gibbs 等针对文献[5]研究得出的试验结果整理得出的如下公式计算砂土的相对密实度。

$$D_r = 21 \sqrt{100 \times \frac{N}{\sigma_v + 70}} \quad (8)$$

式中: N 为地基土的标贯击数; σ_v 为地基土的自重应力。

表3 处理结果

土层编号	土层	土层厚度/m	F_c	e_{max}	e_{min}	σ_v/kPa	处理前			处理后			
							N	D_r	e_0	N	D_r	e_1	置换率 m
1	粉细砂	3.7	0.18	1.003 6	0.614 4	32.0	5	46.49	0.82	16	80.53	0.69	0.072 7
2	粉细砂	2.5	0.18	1.003 6	0.614 4	63.0	9	54.63	0.79	20	81.43	0.69	0.058 3
3	粉细砂	2.5	0.18	1.003 6	0.614 4	88.4	12	57.80	0.79	20	80.90	0.68	0.054 3

注: 基床厚度 2~3 m, 表层粉细砂基本被置换。

当砂桩置换率大于 5.8% 时, 砂土层的孔隙比可达到 0.69, 因此如复合土层的标贯击数能达到 16 击, 则钻孔对应直立式护岸位置的液化程度将减轻为轻微液化。为安全起见, 本设计前趾前置置换率采用 16%, 沉箱下方及回填下方采用 6.4%,

大于计算结果, 因此本土层处理后已经基本消除液化。本设计严重液化段采用直径 1.0 m、间距 2.2 m 布置; 沉箱下方采用直径 0.8 m、间距 2.8 m 正方形布置^[6]。砂桩断面见图 1, 布置形式见图 2。

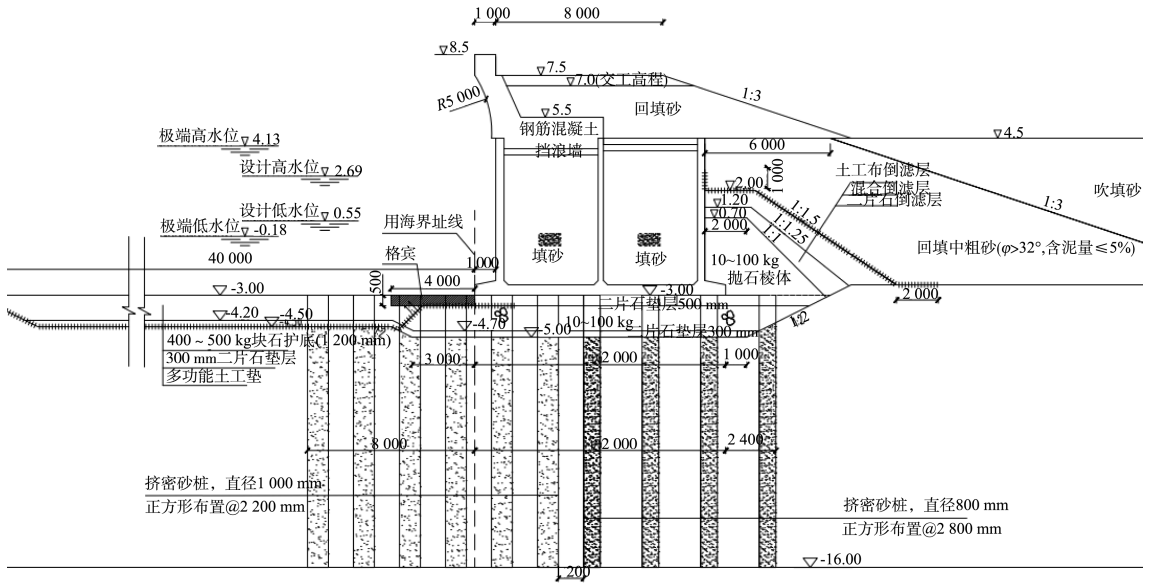


图 1 砂桩断面 (高程: m; 尺寸: mm)

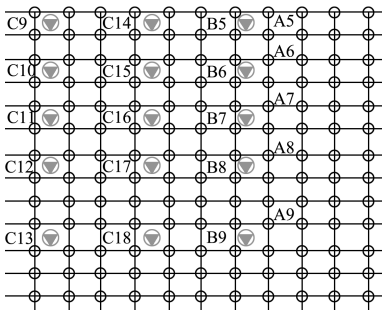
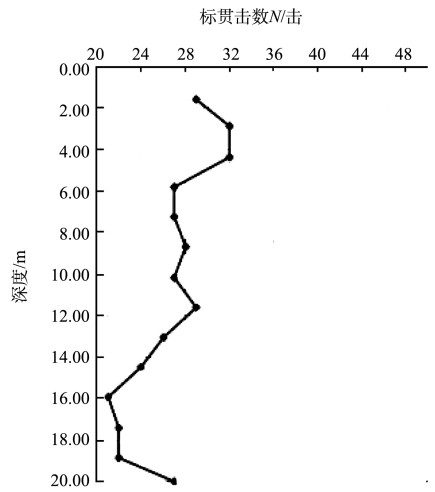


图 2 检测点布置

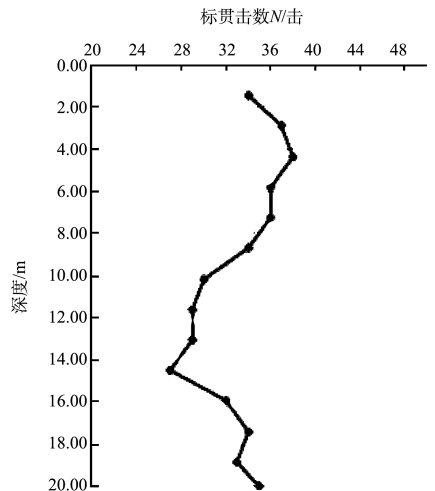
4 检测结果

分别对砂桩中心点(A类)、两桩中心点(B类)、4桩中心点(C类)进行标准贯入度试验。

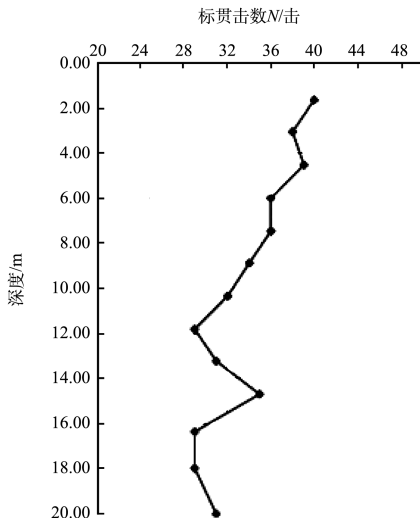
经标准贯入度试验检测,砂桩处理结果满足设计要求(图3)。



b) B类



c) C类



a) A类

图 3 检测孔锤击数与贯入深度关系典型曲线

5 结论

1) 理论分析及计算结果显示, 在严重液化区域直接建设直立护岸, 单靠结构与回填的压重不能消除液化, 需进行地基处理以提高土层的密实度。

2) 计算及施工效果检测显示, 采用合理的置换率施打挤密砂桩, 可以有效地改善地基下卧土的密实度, 从而有效消除和改善下卧土的液化现象。

参考文献:

[1] 龚晓南.地基处理手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2000.

[2] 中交水运规划设计院有限公司.JTS 146—2012 水运工

程抗震设计规范[S].中华人民共和国交通运输部.北京:人民交通出版社,2012.

[3] 《工程地质手册》编写委员会.工程地质手册[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2007.

[4] Mizuno Y, Suematsu N, Okuyama K.Design method of sand compaction pile for sandy soils containing fines[J].Journal of JSSMFE, 1987, 35(5): 21-26.

[5] Meyerhof G G.Discussion on research on determining the desity of sands by penetration testing [C]//Proc 4th Int Conf on Soil Mech and Found Engrg.London: [s.n.], 1957.

[6] 浙江大学, 浙江中南建设集团有限公司.GB/T 50783—2012 复合地基技术规范[S].中华人民共和国住房和城乡建设部.北京:中国计划出版社,2012.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 157 页)

参考文献:

[1] 娄炎.真空预压加固软基技术[M].北京:人民交通出版社,2001: 25-28.

[2] 龚晓南, 岑仰润.真空预压加固软土地基机理探讨[J].哈尔滨建筑大学学报, 2002, 35(2): 7-10.

[3] 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.

[4] 彭劫.真空-堆载联合预压法加固机理与计算理论研究[D].南京:河海大学, 2003.

[5] 麦远俭.真空预压加固中软黏土不排水剪切强度的增长[J].水运工程, 1998(12): 53-57.

[6] 楼晓明, 范成杰, 朱亚娟, 等.利用原位测试结果评价真空预压的加固效果[J].岩土工程学报, 2013(S2): 511-514.

[7] 中国建筑科学研究院.JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].中华人民共和国住房和城乡建设部.北京:中国建筑工业出版社, 2012.

[8] 魏汝龙, 张凌.稳定分析中的强度指标问题[J].岩土工程学报, 1993, 15(5): 24-30.

[9] 中交天津港湾工程研究院有限公司.JTS 147-1—2010

港口工程地基规范[S].中华人民共和国交通运输部.北京:人民交通出版社, 2010.

[10] 沈珠江.软土工程特性和软土地基设计[J].岩土工程学报, 1998, 20(1): 100-111.

[11] 沈珠江.基于有效固结应力理论的粘土土压力公式[J].岩土工程学报, 2000, 22(3): 353-356.

[12] 徐宏, 邓学均, 齐永正, 等.真空预压排水固结软土强度增长规律性研究[J].岩土工程学报, 2010, 32(2): 285-290.

[13] 叶国良, 郭述军, 朱耀庭.超软土的工程性质[C]//交通运输部港口岩土工程技术交通行业重点实验室.全国超软土地基排水固结与加固技术研讨会论文集, 2010: 12-25.

[14] 中交公路规划设计院有限公司.JTG D63—2007 公路桥涵地基与基础设计规范 [S].中华人民共和国交通运输部.北京:人民交通出版社, 2007.

[15] 铁道第三勘察设计院.TB 10002.5—2005 铁路桥涵地基与基础设计规范 [S].中华人民共和国铁道部.北京:铁路工程技术标准所, 2005.

(本文编辑 武亚庆)