

文章编号:1673-9469(2008)03-0050-04

强夯置换加固填海地基的试验研究

李冰

(福建交通职业技术学院,福建福州 350007)

摘要:在分析强夯置换法加固地基机理的基础上,结合厦门环东海域填海造地工程,通过对试夯区的强夯置换砂桩试验,以及对强夯现场监测、检测结果的分析,确定了强夯置换砂桩加固填海地基的施工参数,验证了强夯置换砂桩用于该填海地基的合理性。

关键词:强夯置换;砂桩;地基处理;强夯监测;复合地基

中图分类号: TU472

文献标识码: A

Experimental research on the dynamic replacement compaction of fill foundation

LI Bing

(Fujian Communication Technology College, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Based on analyzing the mechanism of dynamic replacement method for compacting foundation, The experiment of the dynamic replacement sand pile were carried out by combining with the sea reclamation project of the Xiamen east sea area. The results on the dynamic experimental site showed that the treatment of the sand pile foundation of dynamic replacement gets the good effect and this method improves the foundation bearing capacity.

Key words: dynamic replacement; sand pile; foundation treatment; field test; monitoring and testing

强夯置换法是80年代以来从强夯法发展起来的一种地基处理方法,主要用于加固高饱和度的粉土与软塑~流塑的粘性土等地基。该方法与强夯法不同之处在于强夯置换是利用夯击时的冲击力强行将夯坑中回填的砂、碎石等粗颗粒材料挤填到软土地基中,置换原有软土,在形成密实夯桩的同时把同体积的地基土挤向四周,对周围土体产生很大的横向挤压力,使周围土体孔隙比减小,密实度增大。在夯密桩体的过程中,强大的冲击力和振动力通过桩体传向地基土,对地层可以起到振密作用;同时桩内加入中粗砂、碎石等反滤性好的粗颗粒料,在地基中形成渗透性能良好的排水减压通道,可有效地消散挤密、振密作用下增加的孔隙水压力,加快地基的排水固结,从而达到提高地基承载力,减少地基沉降的目的。

目前,强夯置换法还没有一套成熟的设计计算方法,同时,各地的地质情况和施工千差万别。

为了确保质量,在施工前选取典型试验区进行强夯试验,以确定其适用性和加固效果。本文结合厦门环东海域填海造地工程,对强夯置换砂桩加固填土地基进行了试验研究。

1 工程地质条件

厦门环东海域综合整治建设工程洪塘片区造地工程部分区块采用了陆域回填开山土形成,试验区域在A9分区内,系在原虾池及塘埂地形上采用抛开山土碾压形成,抛填厚度约5.0~6.0m。

根据试夯区勘察报告,抛填前场地土层分布自上而下依次分别为素填土(堤埂)或淤泥(虾池)、砂混淤泥、粉质粘土、中粗砂、圆砾、砾砂、残积砂质粘性土等。上部人工填土层由新开开山土抛填形成,由粉质粘土夹杂强风化砂岩碎屑、全风化花岗岩碎屑组成。地下水位埋深约4.0m,受潮汐影响较小,水位稳定。

收稿日期:2008-05-26

作者简介:李冰(1972-),女,福建武夷山人,讲师,从事土木工程、交通工程的研究。

2 强夯置换砂桩加固试验设计

根据场地的工程地质条件和工程使用要求,合理确定强夯置换参数,是保证地基加固质量、提高综合效益的关键。强夯置换施工的主要设计参数有夯击能、夯点布置、夯击次数、相邻两次夯击的间歇时间与收锤标准等。

1)夯击能。强夯的单位夯击能量,应根据地基土类别、结构类型、荷载大小和要求处理的深度综合考虑,设定夯锤直径 1.20m,锤高 2.0m,锤底面积 1.13 m²,夯锤重 22.4t,落距 17.8m,单击夯能为 4000kJ。

2)夯点间距。夯点间距按 5.0m × 5.0m,正方形布置,中心加布 1 个夯点。

3)强夯砂桩长度、直径。砂桩长度应穿透淤泥层着底坚实土层;设计平均直径为 1.4 ~ 1.5m。

4)夯击次数。夯击次数按现场试夯得到的夯击次数和夯沉降量关系曲线确定。且应满足最后两击夯沉量小于 30cm 或累计夯沉量大于 10m;夯坑周围地面不应发生过大大隆起;不因夯坑过深而发生起锤困难。通过试验段试夯,确定单点夯击数不小于 15 击,松砂回填量不小于 25m³。

5)间歇时间。两遍夯击之间的时间间隔,取决于土中超孔隙水压力的消散时间。通过综合试验区的孔压监测结果发现,超孔隙水压力随着夯击数的增加而不断增长,但增加到 9 击后,其增长趋势逐渐放缓至接近于平稳。孔压消散在前 5d 较快,而后消散速度逐渐下降,孔压完全消散则需要相对较长的时间。消散至 70% 的时间应大于 7d。故取二遍强夯砂桩间隔时间不少于 7d。

3 地基处理效果分析

经过对孔隙水压力的观测,强夯施工结束一周后,孔隙水压力恢复正常,检测工作开始。

3.1 静荷载试验

强夯置换处理后的地基承载力,目前仍无可靠的计算方法,必须通过现场平板荷载试验来确定,由于试夯区试坑直径达 1.2m,桩间距达 2.5m,如果进行单桩复合地基荷载试验,所需要的承载板面积达 12.5m²,堆载量也相当大,试验条件和时间方面难以满足设计要求。本试验采用分别测试强夯砂桩和桩间土承载力,然后按复合地基理论对复合地基承载力进行综合计算。试验采用慢速

维持荷载法进行加荷。载荷试验点布设位置尽可能靠近动力触探试验点,以便更好地进行结果对比。夯前天然地基、夯后砂桩和桩间土承载力静载荷试验成果曲线见图 1。

夯前地基承载力基本值为 120kPa,当荷载加到 280kPa 时,地基已经破坏。从砂桩荷载试验结果看,P-S 曲线存在明显的直线段。夯后砂桩荷载加到了 800kPa 尚未达到极限荷载,因此砂桩的承载力特征值可取最大值的一半,即 400kPa。夯后桩间土荷载加到了 400kPa 尚未达到极限荷载,因此地基承载力特征值可取最大值的一半,即 200kPa。

根据柔性桩复合地基承载力标准值计算公式

$$f_p = f_p \cdot m + (1 - m)f_s$$

式中 f_p 、 f_s 分别为复合地基单桩和桩间土承载力标准值,分别取为 400kPa 和 200kPa; m - 桩土面积置换率,本试验区为 0.09。

经计算,复合地基承载力标准值为 218kPa。

从以上试验结果可看出,强夯前地基承载力标准值为 120kPa,强夯砂桩加固后的地表承载力标准值超过了 218kPa,提高幅度超过 82%,表明强夯砂桩对地基的处理效果良好。

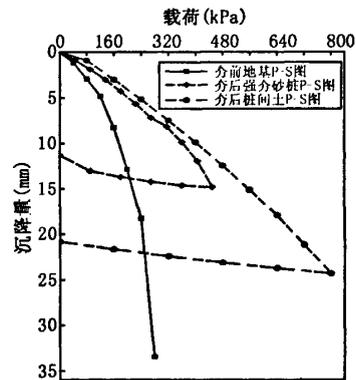


图1 静荷载对比试验P-S 曲线

Fig.1 The curve of P-S

3.2 动力触探试验

试验区夯前、夯后的代表性动力触探曲线如图 2。

根据动力触探试验结果可以发现,除了浅表层的土体外,夯后桩周各深度土体的平均锤击数 $\bar{N}_{63.5}$ 普遍大于夯前。强夯前后各土层 $\bar{N}_{63.5}$ 及夯后提高幅度如表 1 所示。

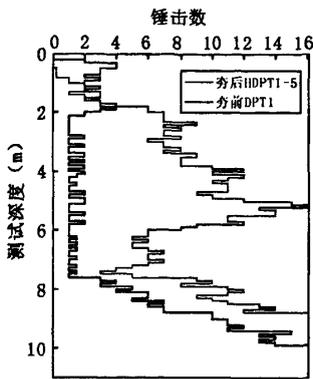


图2 动力触探曲线图
Fig.2 The curve of dynamic penetration

表1 夯前与夯后 $N_{63.5}$ 值对比(单位:击)

Tab.1 Comparison of the $N_{63.5}$ value

项目	分层深度/m				
	0-2.5	2.6-4.0	4.0-6.5	6.5-7.4	7.4-8.4
夯前	3.4	1.4	1.5	1.8	4.6
夯后	3.1	4.1	4.0	5.7	9.0
提高比	-9%	193%	167%	217%	96%

表层厚约 2.5m 的硬壳层由于强夯扰动, $\bar{N}_{63.5}$ 有所降低; 在 2.5~4.0m 深度范围内, 挤密作用明显; 4.0~6.5m 的土体处于地下水位以下, 但挤密作用也较为明显; 6.5~7.4m 土体的加固作用较明显; 强夯砂桩对 7.4m 以下的土体也有加固作用, 但幅度相对较小。

桩心的动探试验的测试结果显示, 强夯砂桩的长度为 6~7m, 2~6m 长度范围内桩体的 $\bar{N}_{63.5}$ 值为 8~9 击, 砂体呈稍密状态。

3.3 钻孔旁压试验结果

表2 试验区强夯前、后各测点旁压试验结果统计表

Tab.2 Test results of pressuremeter test at every testing point

试验内容	项目	分层深度(m)				
		0-2.5	2.5-4.0	4.0-6.5	6.5-7.5	7.5-8.5
初始	夯前	178.2	123.5	98.3	62.1	134.9
	压力	174.6	188.0	170.5	122.1	151.9
	P_0 (kPa)	提高比	-2%	52%	74%	97%
临塑	夯前	528.6	363.1	322.5	268.4	389.2
	压力	549.4	592.4	467.5	299.7	430.3
	P_s (kPa)	提高比	4%	63%	48%	12%
地基承载	夯前	235.2	110.3	85.1	70.6	140.7
	力标准值	216.1	242.5	128.5	93.0	156.0
	f_k (kPa)	提高比	-8%	120%	51%	27.5%

试验区强夯前、后各测点旁压试验结果统计见表 2; 不同深度地基承载力标准值随深度变化关系曲线见图 3。

由旁压试验统计结果图表可以看出, 在 0~2.5m: 由于强夯的振松作用, 地基表层的承载力略有下降; 2.5~4.0m 处经过强夯加固后比加固前有较大的提高, 是加固效果最好的深度; 在 4.0~6.5m 和 6.5~7.5m 处, 经过强夯加固后, 地基承载力比加固前有一定程度的提高, 但比较 2.5~4.0m 处提高幅度有所下降; 在 7.5~8.5m 处: 地基承载力只有较小的提幅, 加固效果不明显。

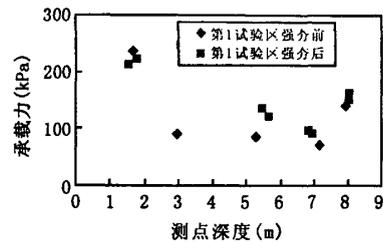


图3 不同深度地基承载力随深度变化关系图
Fig.3 The change of foundation bearing capacity along with depth

3.4 瑞利波测试结果与分析

在试验区强夯前、后分别进行了瑞利波测试, 夯前测线与夯后测线为对应的重合, 代表性曲线的频散曲线如图 4。

从图 4 可以看出, 地基处理前剪切波速在 150~250m/s 之间, 而地基处理后, 除了 0~1.5m 回填料由于被振松波速较低外, 1.5m~4.0m 范围内土层的剪切波速基本上都大于 300m/s, 所以地基上部土体的加固处理效果显著。近表面由于被振

表 3 夯前与夯后土样的土工试验结果表
Tab.3 The results of soil test on soil samples

土样名称	状态	土的物理性质						压缩性		剪切试验	
		含水量 (%)	比重	湿密度 (g/cm ³)	干密度 (g/cm ³)	饱和度 (%)	孔隙比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)	内聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
淤泥质粘土	夯前	50.4	2.67	1.731	1.153	98.4	1.327	1.11	2.18	11.3	2.6
	夯后	40.2	2.69	1.850	1.320	100	1.031	0.55	3.71	11.2	7.0
粉质粘土	夯前	30.0	2.69	1.862	1.425	89.6	0.888	0.55	3.55	12.3	21.1
	夯后	29.2	2.69	1.85	1.430	88.8	0.880	0.49	3.96	15.2	20.6

松,无法激发出高频波,同时高频波衰减很快,分析时取近表面为同一速度。

小于淤泥质粘土,表明强夯砂桩对这层土起到了一定的挤密作用。

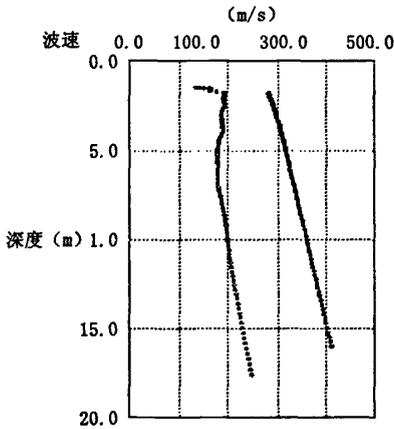


图4 夯前、夯后频散曲线比较
Fig.4 The comparison of dispersion curve

3.5 钻孔取样与土工试验结果与分析

夯后钻孔取样深度与夯前钻孔取样孔大致对应。夯前淤泥质粘土或淤泥层分布在 6.4~8.2m 范围内。由于强夯后原有的软土层被压缩置换或与夯入的中粗砂混合,只在 6.4m 位置取到一个不完整的淤泥土样,其余均被原来上覆的素填土所替代或充填混入砂桩中。

夯前与夯后土样的土工试验结果见表 3。据表 3,对比淤泥质粘土的物理与力学指标可知,夯后的指标好于夯前,含水量、孔隙比变小,重度、压缩模量增大,抗剪强度指标提高,强夯砂桩对淤泥质粘土层起到了较好的挤密作用。素填土层夯后的物理力学指标比夯前也有提高,但提高的幅度

4 结论

- 1) 强夯置换砂桩法加固处理填海地基效果明显,加固后桩体和桩间土的变形模量指标均有较大提高;地基承载力提高 82% 以上。
- 2) 宜采用静荷载试验确定复合地基承载力。由于复合地基的承载力主要决定于砂桩的质量,因此应适当增加对砂桩体的抽检比例。并通过重型动力触探及其他试验进行校验。
- 3) 建议采用累计夯沉量强夯砂桩的质量进行控制,不宜采用最后 2 击的夯沉量作为收锤标准。
- 4) 目前强夯置换理论还十分的不成熟,个别工程加固后出现下沉较大。因此,宜先通过试验确定其适用性和相关参数,以其达到良好的处理效果。本工程采用 4000kJ 单点夯击能加固软土地基,为强夯置换砂桩法在沿海地区广泛应用积累了工程经验。

参考文献:

- [1] 刘怡林,王吉利,骆行文,等. 旁压试验在黄土地区地基承载力现场测试中的应用[J]. 公路交通科技, 2004 (21): 17-19.
- [2] JGJ79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] 徐至均. 强夯和强夯置换法加固地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] GB50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] JTJ017-96, 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
- [6] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(责任编辑 刘存英)

强夯置换加固填海地基的试验研究

作者: [李冰](#), [LI Bing](#)
作者单位: [福建交通职业技术学院, 福建, 福州, 350007](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2008, 25 (3)
被引用次数: 2次

参考文献(6条)

1. [刘怡林](#); [王吉利](#); [骆行文](#) [旁压试验在黄土地区地基承载力现场测试中的应用](#) [期刊论文]-[公路交通科技](#) 2004 (21)
2. [JGJ 79-2002](#). [建筑地基处理技术规范](#)
3. [徐至均](#) [强夯和强夯置换法加固地基](#) 2004
4. [GB 50007-2002](#). [建筑地基基础设计规范](#)
5. [JTJ 017-1996](#). [公路软土地基路堤设计与施工技术规范](#)
6. [林宗元](#) [岩土工程试验监测手册](#) 2005

本文读者也读过(6条)

1. [徐建军](#). [郑文军](#). [吴光熊](#). [Xu Jianjun](#). [Zheng Wenjun](#). [Wu Guangxiong](#) [武广客运专线软弱地基强夯置换的试验研究](#) [期刊论文]-[路基工程](#)2007 (4)
2. [吴道祥](#). [刘刚](#). [王国强](#). [WU Dao-xiang](#). [LIU Gang](#). [WANG Guo-qiang](#) [强夯与强夯置换碎石桩复合地基承载力的试验研究](#) [期刊论文]-[合肥工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2008, 31 (4)
3. [郑俊华](#). [陈晨](#). [李延刚](#). [刘建林](#). [ZHENG Jun-hua](#). [CHEN Chen](#). [LI Yan-gang](#). [LIU Jian-lin](#) [振动沉管挤密砂桩施工技术](#) [期刊论文]-[建筑机械\(上半月\)](#) 2008 (9)
4. [曾庆军](#). [李茂英](#). [李大勇](#) [强夯置换深度的估算](#) [期刊论文]-[岩土工程学报](#)2002, 24 (5)
5. [王文峰](#). [WANG Wen-feng](#) [强夯置换在沿海地区软土地基处理中的应用](#) [期刊论文]-[贵州工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2008, 37 (6)
6. [董伟](#). [闫澍旺](#). [冯守中](#). [闫福生](#). [DONG Wei](#). [YAN Shuwang](#). [FENG Shouzhong](#). [YAN Fusheng](#) [采用强夯置换墩加固湿地中高速公路路基的研究](#) [期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#)2009, 28 (z1)

引证文献(2条)

1. [鲁道洪](#). [许强](#) [北川县永安镇开发区路网软基强夯置换处治试验研究](#) [期刊论文]-[路基工程](#) 2012 (6)
2. [白冰](#). [徐华轩](#). [刘海波](#). [范强惠](#) [强夯置换法处理松软土地基若干问题研究](#) [期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2010 (z1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyb200803014.aspx