

强夯法在填海造地工程中的试验研究

刘国军

(中广核工程有限公司, 深圳 518031)

摘 要: 介绍了强夯法加固土夹石类地基的原理, 并通过工程实例研究了填海造地土夹石类地基强夯法处理的参数选择与效果检验, 可供类似工程参考。

关键词: 强夯, 地基处理, 静载试验, 瑞利波

中图分类号: TU472 文献标识码: B 文章编号: 1004-3152(2008)03-08-03

1 强夯法加固土夹石地基的原理

强夯法的加固机理是利用起重机具将大吨位重锤起吊到一定高度后让锤自由落下, 在极短时间内对地基土施加一个巨大的冲击能量, 反复冲击产生的压缩波、剪切波和瑞利波使土体受到瞬时加荷、卸荷及剪切的作用, 使土粒原有的接触形式破坏而产生位移, 形成新的较为稳定的形式, 从而达到增加土体密度、提高强度的目的^[1,2]。对于填海造地工程一般采用的土夹石类型的非饱和土地基, 其加固过程为在冲击型动力荷载作用下, 细粒土体的孔隙体积减小, 土体变得密实; 同时粗粒土和夹石在冲击荷载下可以起到挤土及振密效应, 在土中形成密实套嵌的块体, 起到换填地基或复合地基的作用; 而冲击形成的块体间产生的相互约束力, 又能起到提高承载力的作用。

2 工程实例

宁德核电厂一期场地是在清除海底淤泥的基础上, 采用开山石回填水下部分, 采用土夹石回填水上部分形成的。为保证回填场地能作为 BOP 区办公楼等建、构筑物的地基使用, 同时考虑到施工进度要求, 拟采用快速、高效、经济的强夯法进行处理。依据设计方提出的技术要求, 强夯后回填区地基承载力特征值 $f_{ak} \geq 200$ kPa, 压缩模量 $E_s \geq 10$ MPa, 有效加固深度要大于等于填土厚度。

3 强夯试验

3.1 夯击参数的选择

根据不同地基类型及分布情况, 选定两个具有代表性的回填土区, 采用三种不同的夯击参数进行试夯, 以确定最佳夯击方式。试夯区 I 选定在紧靠山坡, 宽度小, 回填厚度小于 6 m 的区域中; 试夯区 II 选定在回填区中填土不小于 10 m 的区域中, 其中部分区域填土超过 13 m。试夯区 I 采用两遍夯击, 第一遍为点夯, 第二遍为满夯; 试夯区 II-A 与试夯区 II-B 采用三遍夯击, 第一遍与第二遍夯击均为点夯, 其中第二遍点夯位置布置在第一遍夯点中间, 第三遍为满夯。

为了确保强夯地基处理的质量, 根据场地两典型回填区域的回填情况, 强夯试验依据规范并结合当地的施工经验进行, 试夯区 I 第一遍点夯收锤标准为最后两击平均夯沉量小于等于 5 cm; 试夯区 II-A 第一遍与第二遍点夯收锤标准均为最后两击平均夯沉量小于等于 10 cm; 试夯区 II-B 第一遍点夯收锤标准为最后两击平均夯沉量小于等于 10 cm, 第二遍点夯收锤标准为最后两击平均夯沉量小于等于 5 cm, 具体参数如表 1。

3.2 强夯效果检测

强夯加固地基的效果如何, 承载力与加固深度是否满足设计要求, 这些必须通过现场检测分析才能确定, 同时现场检测对于最终强夯施工参数的确定也有一定的借鉴作用。为此, 对上述试夯区的加固效果采用了载荷试验、瑞利波法进行检测和分析。

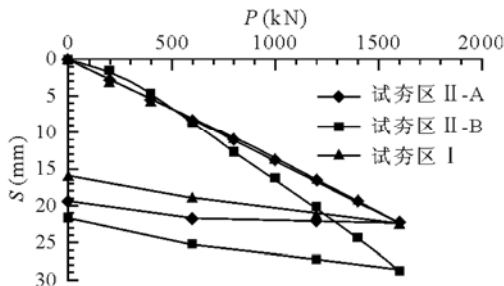
表1 各试夯区试夯参数

试夯区名称	夯击形式	单击夯能 (kN·m)	夯点布置	单点击数(击)	夯点数量
试夯区 I	一遍点夯	3000	4 m×4 m 正方形	7~9	25
	满夯	1500	搭接 30% 锤径	2	
试夯区 II-A	一遍点夯	6000	7 m×7 m 正方形	10~12	16
	二遍点夯	6000	7 m×7 m 正方形	10	9
	满夯	1500	搭接 30% 锤径	2	
试夯区 II-B	一遍点夯	6000	7 m×7 m 正方形	10	16
	二遍点夯	3000	3.5 m×3.5 m 正方形	7~9	49
	满夯	1500	搭接 30% 锤径	2	

(1) 静载荷试验

按照试夯分区情况,在三个试夯区各选定了一个位置进行静载荷试验。试验均采用 2.0 m×2.0 m 的方形平板;最大加载量均为设计承载力(200 kPa)的两倍,即 1600 kN;分八级加载,每级 200 kN,卸载时按 1000 kN、600 kN 卸载。稳定标准与终止试验的条件按照文献[3]中规定执行。

通过试验得到每一级荷载下对应的沉降量,绘制出如图 1 的 $P \sim S$ 曲线。

图1 试夯区 $P \sim S$ 曲线

试验过程中,三个试验点在各级荷载作用下均能在 120 分钟内达到稳定标准。从图 1 中可以看出,三个试夯区的 $P \sim S$ 曲线均比较平缓,沉降较均匀,结合实测数据和文献[3]及文献[4]的关于地基承载力与压缩模量的计算方法可以得到试验结果如表 2。

从试验结果可以看出,试夯区的承载力特征值 f_{ak} 与压缩模量 E_s 均达到了设计要求。

(2) 瑞利波检测

瑞利波法检测分为瞬态法和稳态法两种^[5],本次检测应用瞬态法进行。瞬态法相对于在激振时产生单一频率的稳态法来讲,其激振以复频波的形式传播,对于复杂地质条件下不同深度处介质的物理力学性质的描述更加精确。

检测仪器采用 SWS-1A 多功能面波仪,其工作道数为 4 道,采样间隔为 200 μ s,采样点数为 2048 点,全通带宽;拾振器为 SWS-R4 面波拾振器;激振

表2 载荷试验结果

试验区号	最大试验荷载		最大沉降量 S (mm)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	变形模量 E_0 (MPa)	压缩模量 E_s (MPa)
	(kN)	(kPa)				
I	1600	400	22.32	≥ 200	31.3	12.5
II-A	1600	400	28.77	≥ 200	30.5	12.2
II-B	1600	400	22.23	≥ 200	26.4	10.6

器采用特制瑞利波锤,以自由落体方式激振。检测时按排列长度 10 m、检波道数 4 道、道间距 2 m、偏移距 4 m、激振能量 600 N·m 进行。通过测试共得到瑞利波原始记录 150 个,其中含有为了比较夯击前后的效果而抽测的试夯区边的未夯区测点。利用傅氏变换,把时间域记录转换为频率域信息,得到不同频率成分的相位角,然后转换为该频率成分的波速,通过波速变化便可以得到地基承载力与加固深度。

将所得到的试夯区测点数据及试夯区边上的未夯区测点数据计算整理便可得到各个试验区域的地基承载力 f_{ak} 和压缩模量 E_s 以及加固深度,如图 2。

从图中可以看出 6000 kN·m 能级的试夯区 II 的加固深度均值达到 14.5 m, 3000 kN·m 能级的试夯区 I 的加固深度均值达到 6.3 m, 均达到设计要求。通过计算可得到三个区域的地基承载力与压缩模量均值如表 3。

表 3 检测区域的地基承载力与压缩模量

试夯区	试夯区	试夯区	试夯区	试夯区	试夯区	试夯区
参数	II-A 旁未夯区	II-A	II-B 旁未夯区	II-B	I 旁未夯区	I
地基承载力均值 (kPa)	163	220	163	216	159	212
压缩模量均值 (MPa)	5.6	13.4	5.7	12.9	5.2	12.1

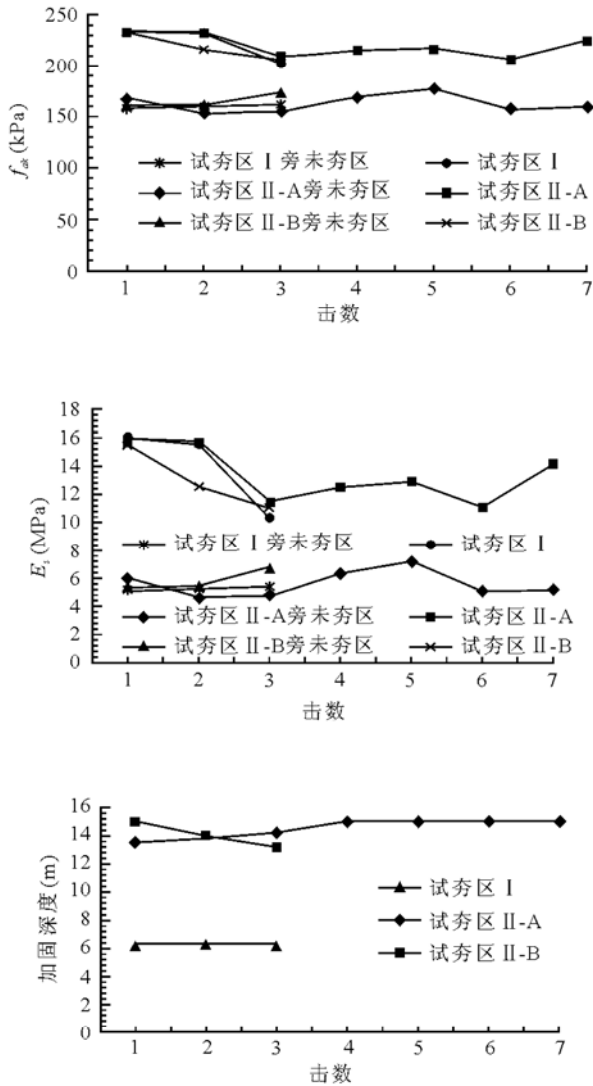


图 2 瑞利波检测计算结果

对比表 2 中各未夯区和已夯区的数据可以看出:通过强夯加固试夯区 I 地基承载力提高了 33.3%,压缩模量提高了 132.7%;试夯区 II-A 地基承载力提高了 35.9%,压缩模量提高了 139.3%;试夯区 II-B 地基承载力提高了 32.5%,压缩模量提高了 126.3%。

4 强夯参数的确定

综合分析采用三种不同强夯参数的试夯区的加固效果可知,三个试夯区经强夯后都已达到设计要求,但是由于试夯区 I 紧靠山坡,观察夯坑底面可看到有少量的倾斜,证明采用 3000 kN·m 的能级进

行强夯能量偏小,加固均匀程度相对较差。而试夯区 II-B 第一遍的夯坑深约 1.8 m,第一遍夯坑之间的土石较多,第二遍采取 3000 kN·m 能级施工,施工效率相对偏低,处理效果差。最后确定整场采用试夯区 II-A 的参数,按照单点锤击数不少于 8 击,最后两击平均夯沉量小于等于 10 cm 的收锤标准进行施工,这样紧靠山坡回填厚度小于 6 m 的区域就可避免由于填土厚度不同夯击过程中发生偏锤,处理效果不理想的情况。同时整个场地统一夯击能量,有利于夯点的布置,也可有效避免因采用两种能级施工而产生漏锤,甚至造成加固盲区的现象。

5 结论

(1)对于土夹石类地基,强夯法加固可以使土夹石填土压密,能有效起到降低其压缩性和提高承载力的作用。

(2)强夯法处理土夹石类填土地基,合理选用强夯参数对强夯效果尤为重要。

(3)后续实践证明采用试夯区 II-A 的强夯参数进行地基加固处理完全满足设计要求,对于加固深度要求达到 10 m 的土夹石类填海工程地基有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 龚晓南.地基处理新技术[M].西安:陕西科学技术出版社,1997
- [2] 张福海,王保田,刘汉龙等.强夯法在城市防洪工程地基加固中的应用研究[J].岩土力学,2004,3
- [3] 建筑地基基础设计规范(GB50007-2002)[S].北京:中国建筑工业出版社,2002
- [4] 岩土工程勘察规范(GB50021-2001)[S].北京:中国建筑工业出版社,2001
- [5] 陈永军,胡亚龙,罗嗣海.瑞利波技术在强夯地基检测中的应用[J].西部探矿工程,2006,12

性顺利成孔成桩,没有发生因塌孔半途而废的情况,并且此工艺与全程下钢护筒的工艺比较,节约直接成本约 60 万元。

5 经验和体会

通过在填海抛石棱体区冲击成孔的成功探索,对在类似土层和环境中的施工积累了一些经验:

(1)在抛石区或类似的回填块石、卵石地层,宜选用能够人工控制冲程和频率的手动冲孔桩机,以便在应对突发情况时能更好地操控。

(2)成孔的关键是泥浆的配制和循环应用,大量的优质粘土在类似土层中是必不可少的,开孔段和正常钻进段的泥浆指标有着不同的要求,并应根据

不同情况随时调整。

(3)海边土层受潮水涨落的影响,应该密切关注孔内泥浆面的变化,一旦发现漏浆现象,应立即补填粘土造浓浆以封堵孔隙和加固孔壁。

(4)在回填地层中,上部孔段(约 4 m)宜适当采用钢护筒护壁,并在钢护筒外围用粘土填实。

(5)应该严格按照既定的方案和措施进行施工,建立信息化施工体系,对成孔全过程进行严密的监督和管理。

参 考 文 献

- [1] 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002

Craft Discussion of Impact Poreforming in Riprap Mound Region of Sea Reclamation

WANG Chao xiong, GU Bing shen

(Wuhan Surveying-geotechnical Research Institute of China Metallurgical Construction Group, Wuhan 430080, China)

Abstract The riprap mound layer of sea reclamation consists of block stones with the looseness of structure, big pore and influenced by the fluctuation of ocean tidal, which results in the collapse of driven cast-in-place pile of impact pore-forming. Through discussing the scheme and measure of pore-forming and testing, the successful technology is got and the experience is accumulated, which is economical.

Key words driven cast-in-place pile of impact poreforming, riprap mound, mud recycle, index of mud, protective wall

(上接第 10 页)

Testing Study of Dynamic Compaction Method in Sea-filling Project

LIU Guo jun

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd, Shenzhen 518031, China)

Abstract The theory of soil-rock mixture foundation reinforced by the dynamic compaction method is introduced. How to exam the effect of dynamic compaction and how to choose parameters in soil-rock mixture foundation treatment in sea-filling projects are introduced from the typical engineering. It may be useful for similar projects as a reference.

Key words dynamic compaction, foundation treatment, static loading test, Rayleigh wave