

文章编号: 0455-2059(2011)-0259-04

高能级强夯置换地基的大型载荷试验

詹金林, 应付钊

1. 上海现代建筑设计集团 申元岩土工程有限公司, 上海 200040
2. 中国石化集团上海工程公司, 上海 200120

摘要: 对12000 kN·m高能级强夯置换的设计、施工进行介绍,在强夯置换处理后采用7.1 m×7.1 m大型载荷板进行静载试验,在载荷板下的夯墩、夯间均埋设土压力计,在载荷板四周设置隆起变形监测点和测斜管,每级加载后进行相应的观测。通过监测数据的统计分析,得出强夯置换的置换墩承担总荷载的50%以上,主夯墩墩土分担比例约为1:1。载荷板在荷载作用下,对附近土体的隆起变形量影响范围约为板宽的1倍。

关键词: 高能级强夯置换;地基处理;载荷试验;墩土分担比;隆起变形

中图分类号: TU451

文献标识码: A

Research of high energy dynamic replacement and large-scale plate load test

ZHAN Jin-lin, YING Fu-zhao

1. Shen Yuan Geotechnical Co Ltd, Xiandai Architectural Design Group, Shanghai 200040, China
2. Shanghai engineering CO Ltd, Sinopec, Shanghai 200120, China

Abstract: Design and construction of 12000 kN·m high-level dynamic replacement was introduced. Having a plate load test with 7.1 m×7.1 m load board, we buried soil pressure in the soil and pier under the loading plate, set deformation monitoring points and inclinometer tube around the load plate. By testing data after each load and analyzing the monitor data we have obtained. We get that the replacement pier take over 50% of the total load, the sharing load ratio is about 1:1 between earth and pier. With load plate loads, the uplift o deformation area is about 1 times the width of load board.

Key words: high energy dynamic replacement; foundation treatment; plate load test; pier sharing ratio of soil; uplift deformation

高能级强夯及高能级强夯置换法地基处理在沿海地区围海造陆项目和软弱土地基处理中应用极为广泛,是一种节能环保、经济快捷的地基处理工艺^[1]。目前普通锤(直径2.4~2.6 m)置换施工最高能级已经达到18000 kN·m,处理深度达18~20 m^[2],柱锤^[3-4](直径1.2~1.5 m)置换施工最高能级已达12000 kN·m。长期以来,强夯及强夯置换法地基处理都被认为是一种粗放式地基处理工艺,关于置换墩墩土分担比例尚无相关研究。

本项目位于东部沿海地区,为填海造陆项目,采用高能级强夯置换处理,采用7.1 m×7.1 m大型平板载荷试验检测强夯置换加固效果,并同时监

测研究了置换墩墩土分担比例和载荷板周边环境影响范围。

1 地质条件

试验场地位于东部沿海地区,根据试验场地夯前钻探资料揭示土层:0~2.4 m为素填土,主要由块石、碎石、黏性土等组成;2.4~3.2 m为淤泥质粉质黏土夹泥炭质黏土,含有机质、贝壳碎片、具有腥臭味,混砂,呈流塑状态;3.2~9 m为吹填砂土,呈稍密—中密状态;9~12.6 m为淤泥质粉细砂,呈稍密—中密状态;12.6 m以下为强风化花岗岩。

收稿日期: 2011-06-28

作者简介: 詹金林(1977—),男,陕西商洛人,工程师,硕士, e-mail: zhjcool@yahoo.com.cn,研究方向为基础工程与软基处理。

2 高能级强夯置换地基处理

2.1 地基处理设计

根据上述地质条件,采用 12 000 kN·m 高能级强夯置换进行地基处理,通过强夯置换形成置换墩对土体进行加固,提高地基土承载力和压缩模量.设计采用五遍成夯施工工艺,夯点布置如图 1 所示.

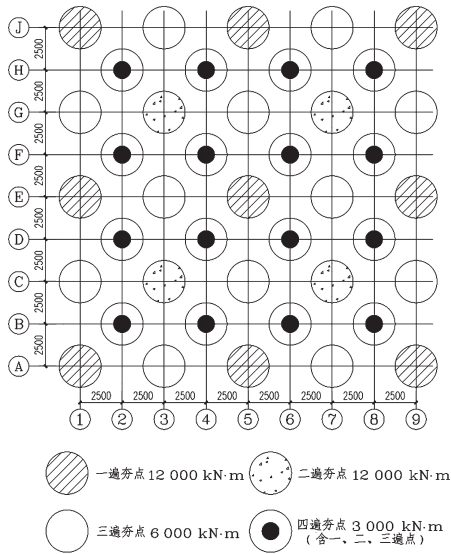


图 1 夯点布置示意图

Figure 1 Sketch of dynamic replacement

夯锤直径 2.6 m, 锤重 35~50 t. 一、二遍夯点收锤标准按最后两击平均夯沉量不大于 200 mm 且击数不少于 15 击控制; 三遍夯点收锤标准按最后两击平均夯沉量不大于 100 mm, 且击数不少于 10 击控制; 第四遍夯点收锤标准按最后两击平均夯沉量不大于 50 mm, 且击数不少于 8 击控制; 第五遍满夯施工: 1 500 kN·m 能级平锤满夯, 每点夯 3 击, 夯印 1/3 搭接.

2.2 回填料要求

夯坑回填料采用风化程度低、强度高的开山块石, 6 000 kN·m 能量级的夯坑回填料最大块石粒径不大于 300 mm; 12 000 kN·m 能量级的夯坑回填料最大块石粒径不大于 500 mm 且粒径大于 300 mm 的颗粒含量不超过全重的 30%. 回填料中黏性土的含量不大于 5%, 砂土和黏性土的总含量不大于 15%. 对于大于块石粒径规定值时, 在现场予以破碎. 填料时机根据夯坑深度确定, 以不丢锤、不吸锤、夯坑内无积水为原则, 每次填料不宜超过夯坑深度的 1/3. 施工过程中应坚持“少喂料, 喂小料, 喂好料”的原则.

2.3 地基处理施工

根据强夯置换施工记录, 各遍施工参数如表 1 所示.

表 1 强夯置换施工参数统计表

Table 1 Construction parameter tables of dynamic replacement

夯击遍数	各点填料量/m ³	累计夯沉量/cm	夯击数/击
一遍点	67~105	537~904	15~20
二遍点	51~54	580~719	15
三遍点	42~52	320~375	10~11
四遍点	-	200~211	8~9

3 夯后试验研究

为了研究强夯处理后墩土分担比例、承压板沉降影响范围及地基土承载力, 采用大板进行载荷试验, 大板尺寸为 7.1 m×7.1 m, 载荷板四角位于主夯点上(如图 3 所示). 试验的最大加载量为 560 kPa (28 200 kN), 采用现浇早强 C50 钢筋混凝土板, 板厚 40 cm (厚宽比 1:18, 可近似看为柔性板). 在压板四周埋设沉降观测点, 压板下面埋设土压力计, 在施工过程中进行压板沉降观测、土压力监测、压板四周隆起监测.

载荷试验采用堆载法试验, 在载荷板上搭设平台, 根据分级荷载量直接堆载, 每级堆载及稳定时间不小于 24 h, 收敛标准按规范要求执行, 试验持续时间为 12 天.

3.1 载荷板沉降监测

本次大板载荷试验中载荷板的沉降主要测量板四周 8 个沉降观测点, 在加载过程中采用精密水准仪测量压板沉降量, 监测点平均沉降—压力曲线如图 2 所示.

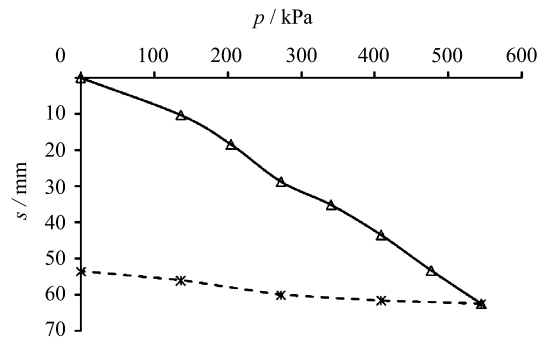


图 2 p-s 曲线

Figure 2 Curve of pressure-settlement

根据压板周边 8 个沉降监测点统计分析, 承压板整体沉降较均匀, p-s 曲线近似直线, 未破坏, 说明地基承载力的潜力较大. 根据相关规范的要

求, 按最大加载量的一半判定, 强夯置换加固后地基土承载力特征值不小于 280 kPa.

另根据本场地邻近的 1.5 m×1.5 m 平板载荷试验结果分析, 加载到 600 kPa 压力下, 夯间载荷板沉降为 25 mm 左右, 夯点的载荷板沉降为 15 mm 左右, 大板载荷板的面积周长比为 1.775, 1.5 m×1.5 m 小板的面积周长比为 0.375. 由此可见采用面积周长比大的板影响深度和沉降远大于小载荷板.

3.2 压板下土压力监测

静载试验前, 在压板垫层下方埋设土压力计 (土压力计埋设位置如图 3 所示), 在试验前初始读数 3 次, 土压力计四周用细砂掩埋并压密, 电缆由地沟埋设引出地面, 采用频率仪人工读数, 试验期间每级荷载稳定前进行测读, 根据频率和标定资料换算得出土压力大小.

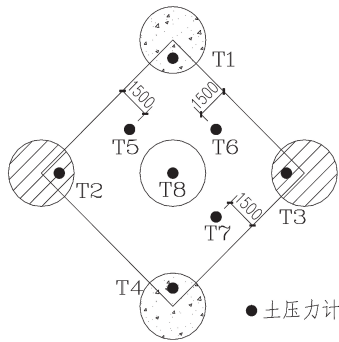


图 3 土压力盒埋设位置及编号图

Figure 3 Pressure cell location and numbers

土压力测试结果如表 2 所示. 从表 2 中可看出, 土压力计读数的平均值随着荷载的增加而不断增加, 并且随着荷载的增加, 两者之间的差值基本呈线性规律. 这说明随着荷载的增加, 荷载向强夯置换墩传递的比例增大.

表 2 强夯置换施工参数统计表

Table 2 Construction parameter tables of dynamic replacement

荷载/kPa	测点							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
140	213	61	306	200	95	61	63	106
210	457	116	475	294	131	89	99	150
280	711	156	647	461	164	103	163	198
350	794	197	792	602	194	123	218	245
420	787	229	953	789	227	143	282	290
490	1107	281	1141	932	261	159	359	337
560	1162	323	1357	1168	277	172	469	388

T1-T4 置换墩, 夯锤直径为 2.6 m, 根据经验, 该直径夯锤形成的置换墩直径为 3.6 m 左右 (开挖验证), 则主夯点承担面积为 10.2 m²; 三遍夯点承

担面积直径为 3.1 m, 承担面积为 7.5 m², 余下则为夯间土承担面积为 32.7 m². T2 位于一遍夯点, 测试结果不正常, 因此统计分析时剔除 T2 点的土压力测试数据. 根据各自承担面积计算压板下加权平均压力, 进行统计分析如表 3 所示.

表 3 土压力分配统计表 (kPa)

Table 3 Earth pressure distribution tables

实际加载压力	一、二遍夯点平均值	夯间土平均值	三遍点	加权平均压力
140	240	73	106	112
210	409	106	150	174
280	606	143	198	245
350	729	178	245	300
420	843	217	290	355
490	1060	260	337	433
560	1229	306	388	505

经统计分析最大加载量时的土压力, 得出一、二遍主夯点 (T1-T4) 所承受土压力平均值为 1229 kPa, 三遍夯点 (T8) 承受土压力为 388 kPa, 夯间土 (T5-T7) 承受土压力平均值为 306 kPa. 根据置换墩及墩间土测试的土压力与相应面积的乘积, 可得到墩土荷载分担比, 一、二遍主夯点: 三遍夯点: 夯间土的比例为 5:1:4, 即一、二遍主夯点碎石置换墩承担荷载的 50% 以上. 根据实测加权平均压力为实际加载压力的 80~90%.

3.3 载荷板周边土体隆起变形观测

在压板四周每个方向距离载荷板边缘 0.5 m, 3.5 m, 6.5 m, 9.5 m 分别设置沉降观测点. 利用精密水准仪观测测点标高变化情况, 对每一级堆载施加过程及工后进行沉降监测, 监测变形量和变形速率. 载荷板周边典型的地基土附加变形如图 4 所示.

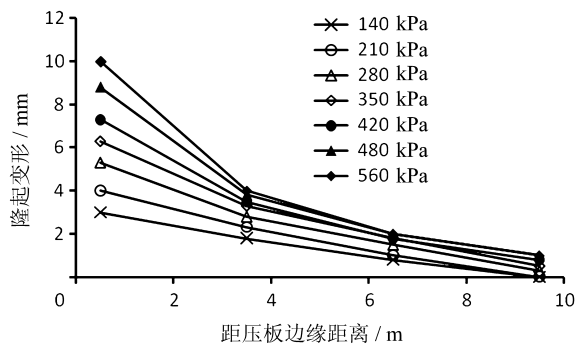


图 4 载荷板周边土体隆起变形曲线

Figure 4 Uplift of soil around the loading plate deformation curve

根据载荷板周边土体隆起变形监测可知, 离板 0.5 m 处土体隆起较大, 最大隆起量达到 11.3 mm, 平均隆起 9.6 mm. 距载荷板 6.5 m 以外隆起较小,

仅1~2 mm. 根据监测数据分析压板载荷对地基周边土层隆起变形的影响范围约为1倍板宽.

3.4 载荷板邻边深层水平位移测试

地基土深层水平位移采用测斜管测试, 测斜管埋设在夯间, 距离载荷板中线边缘1.5 m, 每级加载稳定后进行测试. 图5为现场测试数据, 数据分析以孔底变形为零进行计算.

根据水平位移测试曲线可知, 在离地面深度3 m位置处水平位移达到15 mm, 在4 m位置处位移变小, 再随深度的增加位移反而变大. 造成的原因可能是夯间在3 m处淤泥质粉质黏土未被有效加固的原因. 而砂性土由于受强夯振动挤密的影响, 浅层加固效果明显, 密实度得到增加, 随着深度的增加加固效果逐渐衰减, 因而深层水平位移反而增大. 根据水平位移分析, 可判定压板的影响深度达到基岩表层.

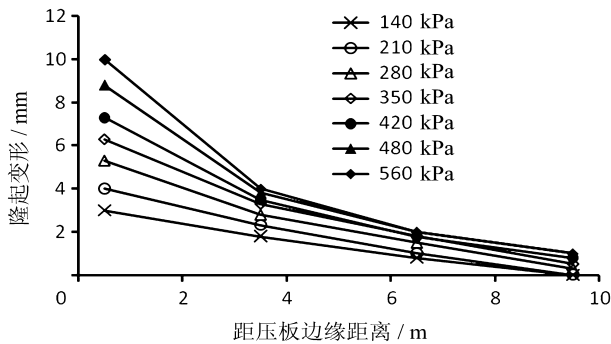


图5 水平位移—深度变化曲线

Figure 5 Horizontal displacement-depth curve

4 结论

通过高能级强夯置换地基处理的大型载荷试验及墩土压力测试、环境影响测试, 可得出以下结论:

高能级强夯置换适合处理类似场地的地基土, 加固效果较为明显.

经过高能级强夯置换处理后, 地基土承载力特征值不小于280 kPa.

高能级强夯置换的置换墩承担总荷载的50%, 主夯墩墩土分担比例为1:1.

承压板在荷载作用下引起地基周边土层隆起变形的影响范围约为1倍板宽.

采用大尺寸承压板(面积周长比大), 在同等荷载作用下, 大板的沉降要大于小板的沉降, 尺寸效应明显.

参考文献

- [1] 王铁宏. 全国重大工程项目地基处理实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 詹金林, 水伟厚. 18 000 kN·m 能级强夯处理深厚填海碎石土的试验[J]. 工业建筑, 2010, 40(4): 96-99.
- [3] 詹金林, 水伟厚. 某抛石填海造陆工程异型锤高能级强夯置换试验研究[C]//工程排水与加固技术理论与实践——第七届全国工程排水与加固技术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 23-27.
- [4] 詹金林, 水伟厚. 柱锤强夯置换振动及侧向变形环境影响试验研究[J]. 土工基础, 2010, 24(2): 65-67.

(责任编辑: 张 勇)