

15 000kN·m 能级强夯加固湿陷性黄土地基 有效加固深度试验研究

汤克胜¹, 郭 伟²

(1. 青岛港(集团)港安建设有限公司, 山东 青岛 265500; 2. 上海港湾工程质量检测有限公司, 上海 200032)

[摘要] 对黄土塬某工程的湿陷性黄土地基采用15 000 kN·m 高能级强夯加固处理。通过探井取样与室内土工试验、静力触探试验、浅层平板载荷试验3种方法对强夯处理效果进行综合检测和研究, 得出15 000 kN·m 高能级强夯加固湿陷性黄土地基的有效加固深度。试验表明, 强夯处理后消除湿陷性效果显著, 地基土承载力明显提高。

[关键词] 高能级强夯; 湿陷性黄土地基; 有效加固深度

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2010)11-0072-03

Experimental Study on Effective Reinforcement Depth of Collapsible Loess Foundation Improved with 15 000kN · m High Energy Level Dynamic Compaction

Tang Kesheng¹, Guo Wei²

(1. Gang'an Construction Co., Ltd., Qingdao Port Group, Qingdao, Shandong 265500, China;

2. Shanghai Harbor Quality Control & Testing Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: 15 000kN · m high energy level dynamic compaction is used to improve collapsible loess foundation of some project in loess tableland area. Based on the sampling wells and laboratory soil test, cone penetration test and shallow plate loading test, the effective reinforcement depth of collapsible loess foundation is improved with 15 000kN · m high energy level dynamic compaction. The tests indicate that the effect of compaction variables is remarkable and soils bearing capacity is improved obviously.

Key words: dynamic compaction; collapsible loess foundation; effective reinforcement depth

目前,强夯加固湿陷性黄土地基单击夯击能都在8 000kN·m以下,对于8 000kN·m以上的高能级强夯加固湿陷性黄土地基的适用性及加固效果值得研究。某工程采用15 000kN·m 高能级强夯加固湿陷性黄土地基,是目前国内强夯处理湿陷性黄土的最高能级。针对15 000kN·m 高能级强夯进行了试验,根据多种原位测试和土工试验对其加固效果及相关参数进行检测和研究,得出高能级强夯加固湿陷性黄土地基的适用性、设计、施工及检测相关规律和结论。

1 工程地质条件

本场地位于我国最大的黄土塬——董志塬,原地形平坦、开阔,起伏不大。地面标高为1 350.00 ~ 1 361.30m。地下水埋深一般为29.5 ~ 33.5m。钻孔最大揭示深度40m,揭示地层13层,依次为:①Q₄ 粉质黏土(黑垆土);②~④Q₃ 粉质黏土(马兰黄土);⑤~⑬Q₂ 粉质黏土(离石黄土上段)。勘探场区,湿陷性黄土的湿陷程度由上向下逐渐减弱,一直渐变为非湿

陷性黄土。湿陷性黄土的底界埋深16m左右,包含地层为②~⑤粉质黏土,即场地内湿陷性黄土为Q₃的马兰黄土和Q₂顶部的离石黄土。场地黄土为Ⅱ级自重湿陷性黄土。

2 强夯施工参数及地基处理要求

15 000kN·m 试施工面积为36m × 49.5m,分5遍施工:第1,2遍采用15 000kN·m 能级点夯,主夯点间距为9m,第1遍夯点一般夯20击左右,第2遍夯点一般夯18击左右;第3遍为3 000kN·m 和8 000kN·m 能级加固夯,在第1,2遍夯点上进行3 000kN·m 能级加固,第1,2遍夯点之间为8 000kN·m 能级插点加固,3 000kN·m 能级夯8击,8 000kN·m 能级夯8击;第4遍为2 000kN·m 能级满夯;第5遍为1 000kN·m 能级满

[收稿日期] 2010-01-23

[作者简介] 汤克胜,青岛港(集团)港安建设有限公司助理工程师,山东省青岛市黄岛区前湾港内奋进路南端港航混凝土公司 265500,电话:(0532) 82988881, E-mail: tanke82356@163.com

夯。场地满夯整平后,整体平均沉降量为 1.43m。15 000kN·m 能级地基有效加固深度 $\geq 15.0\text{m}$,地基承载力特征值 $f_{ak} \geq 250\text{kPa}$ 。

3 现场试验结果

对董志黄土塬上某工程的湿陷性黄土地基采用 15 000kN·m 能级强夯加固处理,待强夯结束 30d 后对场地进行检测,主要采用探井取样与室内土工试验、静力触探试验、浅层平板载荷试验 3 种检测方法,根据检测对强夯施工效果进行综合评价,确定强夯有效加固深度、地基承载力等物理力学参数。

3.1 探井取样及室内土工试验

夯前和夯后,在施工场地探井取样进行室内土工试验,通过土层物理力学参数的改变来测试强夯加固效果,并对处理后的土体进行湿陷系数和其他物理力学参数评价。本试验区开挖探井数量:夯前 1 孔,夯后 6 孔,检测深度为 20m。每孔探井从终夯面以下 0.5m 开始每隔 1m 取一个原状土样,每孔取 20 件土样进行室内土工试验,总共刻取原状土样 140 件。图 1 为 15 000kN·m 高能级强夯加固前后湿陷系数的对比曲线,表 1 为 15 000kN·m 高能级强夯夯前夯后孔隙比 e 、干密度 ρ_d 对比。

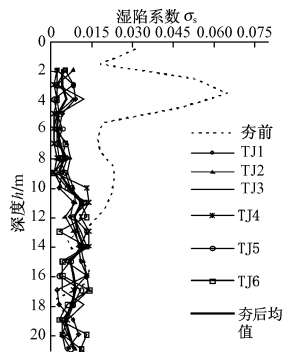


图 1 15 000kN·m 能级强夯前、夯后湿陷系数 δ_s 对比曲线

Fig. 1 Comparison curves on collapsible coefficient of soil before and after 15 000kN·m compaction

由勘察资料可知,湿陷性黄土的底面埋深在 16m 左右。从图 1 可以看出,本场地经 15 000kN·m 高能级强夯加固后,在检测深度范围 20m 内全部消除了黄土地基的湿陷性,即 15 000kN·m 高能级强夯消除湿陷性的深度大于 16m。从表 1 可以看出,经强夯加固后,土体的孔隙比 e 、干密度 ρ_d 得到了明显改善,孔隙比减小比例高达 41%,干密度提高比例高达 31.3%。经 15 000kN·m 高能级强夯后,消除了黄土的湿陷性,提高了地基土的密实性,降低了其压缩性。

3.2 静力触探试验

静力触探试验(CPT)测试采用 2Y-20D 型静力触

表 1 15 000kN·m 能级强夯夯前夯后孔隙比 e 、干密度 ρ_d 对比

Table 1 Comparison of some loess's parameters before and after 15 000kN·m compaction

深度/m	0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	
干密度 ρ_d / (g/cm ³)	夯前	1.380	1.270	1.365	1.375	1.360
	夯后	1.711	1.668	1.641	1.602	1.559
	提高比例/%	24.000	31.300	20.200	16.500	14.600
孔隙比 e	夯前	0.962	1.071	0.974	1.009	0.942
	夯后	0.590	0.632	0.654	0.701	0.742
	提高比例/%	-38.700	-41.00	-32.900	-30.500	-21.200

深度/m	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20	
干密度 ρ_d / (g/cm ³)	夯前	1.420	1.450	1.420	1.440	1.395
	夯后	1.438	1.462	1.491	1.462	1.431
	提高比例/%	1.300	0.800	5.00	1.500	2.600
孔隙比 e	夯前	0.923	0.872	0.923	0.890	0.896
	夯后	0.887	0.852	0.817	0.857	0.897
	提高比例/%	-4.000	-2.300	-11.500	-3.700	-0.100

探车(贯入力 200kN,贯入速度 $(1.20 \pm 0.30)\text{m/min}$)及双桥探头完成,数据采集采用 JTY-3A 静力触探数据采集仪,以每 10cm 采集一个锥尖阻力 q_c 、侧壁阻值 f_s 。绘制曲线完成整个孔的测试工作。15 000kN·m 的夯区分别进行夯前、夯后静力触探试验,夯后试验时间为满夯后 7~10d,试验深度为 20m。由试验得出锥尖阻力 q_c (MPa)-深度 h (m) 关系曲线,锥尖阻力 q_c 平均值、侧壁阻值 f_s (10kPa) 平均值-深度 h (m) 关系曲线,如图 2 所示。同夯前进行对比,由 q_c 值提高 10% 的深度来确定强夯加固湿陷性黄土地基的有效加固深度。

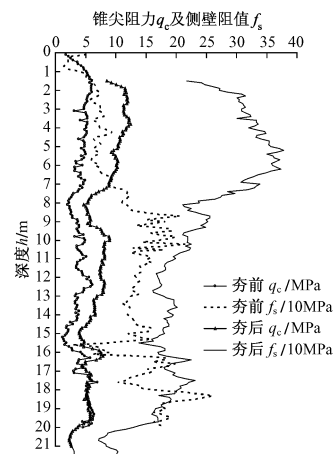


图 2 CPT 夯前、夯后 q_c-h, f_s-h 对比曲线

Fig. 2 Comparison on q_c-h, f_s-h curves before and after compaction

夯后场地整体平均夯沉量向下平移 1.43m。由于

场地经15 000kN·m强夯加固后,土体挤密效果显著,做静力触探试验时,探头贯入土中较难,所以检测点多分布在夯间。从图2可以看出,15 000kN·m能级提高地基强度的效果显著,其强加密带厚14m(0~14m),加密带厚2.6m(14~16.8m),受强夯的扰动,16.8~20m范围内夯前、夯后锥尖阻力 q_c 交替变化,可见在检测深度范围内土体皆受强夯影响,其影响深度大于20m。由 q_c 值提高10%的深度来确定15 000kN·m强夯加固湿陷性黄土地基的有效加固深度为16.6m。

3.3 浅层平板载荷试验

本试验用以确定浅层地基承载力是否满足设计要求,计算地基土的变形模量 E_0 ,估算地基土压缩模量是否满足设计要求。浅层平板载荷试验的试验设备由3部分组成:加荷系统、反力系统和测量系统。本试验采用1m²矩形承压板、千斤顶加荷,反力由8根地锚承担,而沉降测量系统主要包括竖向支撑柱、基准梁、固定位移百分表等。试验加荷方法采用分级维持荷载沉降相对稳定法。最大加载量为设计地基承载力特征值的2倍,即500kPa。

从试验结果可以看出,试验点在最大荷载作用下均未破坏,按照 $s/b=0.010$ (s 为土体沉降, b 为承压板宽度)和相关规范,承载力特征值不超过1/2最大加载量,试验点的地基承载力特征值为250kPa。

按《岩土工程勘察规范》GB50021-2001计算,试验点土体的变形模量分别为109.9,184.3,225.2MPa。试验点的承载力特征值和变形模量如表2所示。

表2 15 000kN·m强夯试验区平板载荷试验结果

Table 2 Test results of plate loading test in 15 000kN·m compaction area

试验点号	最大加载量/ kPa	最终沉降量/ mm	地基承载力 特征值 f_{ak} / kPa	变形模量 E_0 /MPa
JZ1	500	3.32	250	109.9
JZ2	500	1.98	250	184.3
JZ3	500	1.62	250	225.2

3.4 强夯有效加固深度试验结果分析

一般评价强夯法加固效果主要是以强夯有效加固深度为依据。在强夯法中,有效加固深度不仅是上部结构基础设计的主要依据,而且对强夯夯击能的确定、夯点布设、加固的均匀性等参数起着决定作用。对于以处理湿陷性黄土为主的强夯地基处理应以所消除湿陷性土层厚度为主进行判定。

根据大量理论研究及实践经验,在15 000kN·m能级强夯加固区进行的探井取样及室内土工试验、静力触探试验、浅层平板载荷试验,按消除湿陷性,实测的CPT值比夯前提高10%以上,提高承载力、降低压缩性到满足设计要求。综合评价15 000kN·m高能级

强夯加固湿陷性黄土地基的有效加固深度为16.6m。

4 结语

1)强夯加固湿陷性黄土地基,主要以消除湿陷性及提高承载力为主。本场地为湿陷等级为Ⅱ级的自重湿陷性黄土地基,经15 000kN·m高能级强夯处理后,地基土在一定深度范围内可以消除黄土的湿陷性,即黄土的湿陷系数 $\delta_s \leq 0.015$ 。15 000kN·m能级强夯消除湿陷性的深度范围在16m以上。

2)强夯处理湿陷性黄土地基,加固效果显著,尤其是能级愈高,效果愈明显。强夯处理后,地基土的压缩模量、变形模量、承载力提高显著,地基承载力特征值 ≥ 250 kPa;土体的孔隙比 e 、减小比例高达41%,干密度提高比例高达31.3%。

参考文献:

- [1] Menard L, Broise Y. Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation[J]. Geotechnique, 1975, 25(5):3-18.
- [2] 吕辉,史亲雄,袁雪琪.高能级强夯法在滨海化工地基加固中的应用[J].施工技术,2006,35(S1):14-17.
Lü Hui, Shi Qinxiong, Yuan Xueqi. Application of high energy level dynamic compaction strengthening chemical engineering foundation at the seashore[J]. Construction Technology, 2006, 35(S1):14-17. (in Chinese)
- [3] Kyle M. Rollins, Ji-Hyoung Kim. U. S. experience with dynamic compaction of collapsible soils [A]//In-situ Deep Soil Improvement[C]. ASCE, New York, 1994:25-43.
- [4] 裴捷,水伟厚.高能级强夯在深层填土地基处理中的应用[J].上海地质,2004,(2):22-25.
Pei Jie, Shui Weihou. The application of high energy level dynamic compaction in high-capacity soil tank foundation [J]. Shanghai Geology, 2004, (2):22-25. (in Chinese)
- [5] 丰晓东.高能级强夯处理湿陷性黄土地基的应用[J].山西建筑,2004,30(13):66-68.
Feng Xiaodong. The application of high-energy dynamic consolidation in collapsible loess foundation treatment [J]. Shanxi Architecture, 2004, 30(13):66-68. (in Chinese)
- [6] 高洁,高宗辅,马安刚,等.高能级强夯加固大厚度湿陷性黄土地基[J].建筑机械化,1993,(2):1-4.
Gao Jie, Gao Zongfu, Ma An'gang, et al. High energy level ramming applied to strengthen large thickness collapsible loess foundation [J]. Construction Mechanization, 1993, (2):1-4. (in Chinese)
- [7] John F. O'Brien, Charles P. Gupton. In-situ stabilization of two industrial site by dynamic compaction[A]//Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering[C]. St. Louis, 1988:1259-1264.
- [8] 王铁宏.新编全国重大工程项目地基处理工程实录[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
Wang Tiehong. New edition of national major projects foundation treatment engineering memoir [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese)