

强夯法在处理大面积杂填土地基中的应用

刘艳军

(南京林业大学, 南京 210037)

摘 要: 结合南京聚宝山公园一期工程地基处理的实例, 介绍采用强夯法处理大面积杂填土地基的设计方法。重点阐述采用强夯法处理地基时, 如何根据工程实际地质情况合理的确定强夯法的有效加固深度、夯击能量、夯击遍数、夯击点布置形式及夯击点间距。针对强夯法施工效果检验和测试试验数据, 对加固效果进行了分析和评价, 表明强夯法进行地基处理能取得良好的社会和经济效益。

关键词: 强夯法; 有效加固深度; 夯击能量

中图分类号: TU472.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-005X (2009) 03-0089-03

Application of Dynamic Compaction for the Miscellaneous Fill Soil Foundation Strengthening / Liu Yanjun (Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: Combining with the actual case of foundation treatment of the first phase project of Jvbaoshan Mountains Park in Nanjing, the design method of dynamic compaction for the miscellaneous fill soil foundation strengthening was introduced. How to determine the effective reinforcement depth, compaction energy, the number of compaction times, arrangement form of tamping point, and the tamping point spacing reasonably according to the actual geological conditions of the project was expounded emphatically when using dynamic compaction treating the foundation. In addition, the test method of examining and testing the construction effect by dynamic compaction. According to the test data, the strengthening effect was analyzed and evaluated. It was indicated that social and economic benefit can be obtained by dynamic compaction treating the foundation.

Key words: dynamic compaction; effective reinforcement depth; compaction energy

强夯法是法国梅那 (Menard) 技术公司于 20 世纪 60 年代末首创的一种地基加固方法, 我国于 1975 年开始介绍和引进强夯法技术, 并于 1978 年底开始在工程中试用。由于强夯法适用于碎石土、砂土、湿陷性黄土、杂填土和低饱和度粘土或粉土等地基的处理和加固, 并且施工设备简单、节约材料、施工工期短、费用低, 该技术在国内已获得了广泛的应用^[1-3]。

本文以南京市某工程应用强夯法处理大面积杂填土地基的工程实例, 并对其处理效果进行了分析, 可为类似地基土的处理提供参考。

1 工程概况

南京聚宝山公园地下车库工程位于南京市东郊岔路口聚宝山南坡山脚, 南侧紧邻宁镇公路。工程场地基本呈北高南低, 地形起伏较大, 地貌类型属岗地。根据工程详细勘察报告, 场地内土层自上而下分为三大工程地质层, 五个亚层, 各土层分布情

况及物理力学性质指标见表 1。杂填土层堆填时间小于 10 a, 结构松散, 土质均匀性差, 填土成分复杂, 主要由可塑状粉质粘土夹少量碎石、砖块等组成, 硬质物含量 20%~40%, 工程地质性能差。

地下车库层高为 4.9 m, 建筑地面积为 7 569 m², 建筑抗震设防为丙类, 拟建场地为 III 类建筑场地, 地基基础设计等级为丙级。该工程场地自然标高在 47.1~56.5 m 之间 (吴淞标高), 施工完成后场地顶标高为 48.6 m (吴淞标高), 建成后地下室顶板上有厚度 1.4 m 的绿化回填土, 地下室底板位于杂填土层, 地基土承载力不足且沉降变形不能满足工程要求。

2 地基处理方案与强夯法施工参数的确定

2.1 地基处理方案

该工程为独立的地下室, 上部荷载并不大, 但由于后期人工填土层较厚, 虽然解决了地下室的抗浮, 但却带来了地基土承载力不足和沉降变形过大的问题。由于地下室底板下杂填土层厚度过大, 平均 10 m 左右, 采用换填法不可行, 而置换、挤密等复合地基处理方案虽然效果比较好, 但造价较高。根据场地的工程地质条件, 结合本工程的特

点, 在进行地基处理方案的可行性和经济性分析对比后, 决定采用强夯法对地基进行加固处理。强夯法处理杂填土地基具有良好的效果, 且费用不高,

本工程位于城市郊区紧邻公路路边, 周围无邻近建筑物, 施工对环境不会造成不利影响, 且工期短、施工速度快。

表 1 各土层物理力学性质指标

Tab. 1 Index of physical and mechanical properties of various soil layers

土层名称	层厚 m	W %	γ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	e	W_L %	W_P %	I_L	I_P	E_s MPa	f_{ak} kPa
杂填土	0.2~12.5	25.5	19.1	0.811	33.8	20.0	0.40	13.8	4.02	30
粉质粘土	0.4~8.0	22.2	19.9	0.667	32.5	19.3	0.24	13.2	6.98	200
粉质粘土 夹砾石	0.7~5.7									240
强风化 粉砂岩	0.4~9.0									310
中风化 粉砂岩	9.8~									3400

2.2 强夯法施工参数确定

2.2.1 有效加固深度计算

有效加固深度既是选择地基处理方法的重要依据, 又是反映处理效果的重要参数。有效加固深度不仅仅与锤重、落距有关, 还与其他强夯参数和土层厚度、土层构造以及土的物理力学性质有关 (见表 1), 现阶段要准确确定有效加固深度难度很大。《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002) 要求有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定, 或按表 2 预估^[4], 工程实际中一般可按修正 Menard 公式估算有效加固深度^[5]。

$$H = \alpha \sqrt{M \cdot h},$$

式中: H 为有效加固深度, m; M 为夯锤重, t; h 为落距, m; α 为修正系数, 取值范围 0.34~0.8, 本工程为杂填土取 0.5。

表 2 强夯法的有效加固深度

Tab. 2 The effective reinforced depth of dynamic compaction

单击夯击能 kN·m	碎石土、砂土等	粉土、粘性土、湿陷性黄土
	粗颗粒土 m	等细颗粒土 m
1 000	5.0~6.0	4.0~5.0
2 000	6.0~7.0	5.0~6.0
3 000	7.0~8.0	6.0~7.0
4 000	8.0~9.0	7.0~8.0
5 000	9.0~9.5	8.0~8.5
6 000	9.5~10.0	8.5~9.0
8 000	10.0~10.5	9.0~9.5

注: 强夯的有效加固深度应从最初起夯面算起。

2.2.2 夯击能量及夯击遍数

(1) 夯击能量。采用强夯法加固地基时, 合理

地选择夯击设备及夯击能量, 对提高夯击效率很重要。夯锤锤重和落距决定着夯击能的大小, 是影响强夯有效加固深度的重要因素^[6]。单击夯击能过大时, 不仅浪费能源, 对于饱和软粘土有可能反而降低强度; 单击夯击能太小时, 土体中的水分不易排出, 不能达到预期的加固效果, 甚至可能出现橡皮土。

根据地质勘探报告, 本工程地基处理深度要求不小于 5 m, 初选修正系数为 0.5, 锤重为 12 t, 按修正 Menard 公式算得锤落距为 8.33 m, 实际锤落距取为 8.5 m。故单击夯击能为 1 020 kN·m, 小于 4 000 kN·m, 夯击次数通过现场试夯确定, 同时要求最后两击的平均夯沉量不大于 50 mm, 实际施工最终取夯点的夯击次数为 6 次。

(2) 夯击遍数。夯击遍数应根据地基土的性质确定, 对渗透性较大的地基土, 夯击遍数可少些, 而对渗透性弱的地基土, 则夯击遍数要求多些。从国内工程实践看, 大多数工程采用点夯夯击 2 到 3 遍, 然后再以低能量满夯 1 到 2 遍, 一般能取得较好的夯击效果。本工程处理的杂填土富水性差, 渗水性较强, 夯击遍数定为点夯两遍, 满夯一遍, 满夯夯击能采用 800 kN·m。

各遍夯击间的间歇时间取决于加固土层中孔隙水压力消散所需要的时间。如对砂性土, 孔隙水压力的峰值出现在夯完后的瞬间, 消散时间只有 2~4 min, 故对渗透性较大的地基土, 两遍夯击间的间歇时间可很短, 亦即可连续夯击。对粘性土, 由于孔隙水压力消散较慢, 故当夯击能逐渐增加时,

孔隙水压力亦相应地叠加，其间歇时间取决于孔隙水压力的消散情况，一般为 3~4 周^[7]。考虑到本工程是杂填土，渗透性较大，故采用连续夯击。

2.2.3 夯击点布置及间距

夯击点的平面布置应根据建筑物的结构类型，地基土情况和要求的加固深度确定，一般布置为三角形或正方形。夯击点间距的确定，一般根据地基土的性质和要求处理的深度而定。第一遍夯击点间距可取夯锤直径的 2.5~3.5 倍，第二遍夯击点位于第一遍夯击点之间，以后各遍夯击点间距可适当减小。本工程采用正方形布点，夯点间距为 5.0 m。夯击时采取隔行跳夯，第一遍夯完后连续夯击第二遍，第二遍夯击点位于第一遍夯击点之间；第

二遍夯完后，采用低能进行满夯，满夯时夯印彼此搭接 1/4。强夯处理范围取为超出基础外边缘 3 m。

3 强夯效果检验

强夯施工完成后必须对施工效果进行检验和评价，检验应采用原位测试和室内土工试验。在强夯开始前及强夯结束 10 d 后，利用钻孔取样进行室内土工试验，对处理前、后的地基进土行了相关检测，测定了地基土含水量、天然密度、干密度、孔隙比、压缩系数和压缩模量等。试验结果表明，地基土受到强夯的强力冲击和挤压，变得极为密实，压缩性大大降低，强度大幅度提高，地基土的各项指标都得到了明显的改善，见表 3。

表 3 土工实验表

Tab. 3 The geotechnical experiment table

编 号	含水量 %	天然密度 $kN \cdot m^{-3}$	干密度 $kN \cdot m^{-3}$	孔隙比	压缩系数 a_{1-2}	E_s
					MPa^{-1}	MPa
ZK17-1 夯前	23.9	19.7	15.8	0.711	0.445	3.84
ZK17-2 夯后	19.2	20.6	17.6	0.642	0.196	4.25
ZK22-1 夯前	32.7	18.2	14.2	1.005	0.660	3.04
ZK22-2 夯后	26.4	19.5	16.1	0.891	0.254	3.81
ZK27-1 夯前	28.8	18.5	14.8	0.894	0.548	3.46
ZK27-1 夯后	23.3	19.9	16.5	0.753	0.210	3.97
ZK34-1 夯前	24.4	18.7	15.2	0.796	0.537	3.35
ZK34-2 夯后	22.4	20.2	17.0	0.688	0.201	3.88

本工程的原位测试方法采用静载荷试验^[8]，检测在夯后 1~2 周内进行，共选取场地内 3 个点进行压板载荷试验。采用慢速维持加载法分 8 级加载，检测报告显示，3 个检测点的荷载 P 与沉降量 s 曲线较平缓，未出现明显陡降，沉降量 s 与时间 (对数) lgt 曲线基本呈平行规则排列，尾部亦无明显向下弯曲，综合分析后得到试验结果如表 4，承载力特征值满足设计要求。

表 4 平板载荷试验结果

Tab. 4 The test results of plate loading

序号	压板面积 m^2	最大加载量 kN	最大沉降量 mm	回弹率 %	承载力特征值 kPa
1	1.0	160	14.22	44.87	80
2	1.0	160	10.85	46.27	80
3	1.0	160	11.50	45.65	80

4 结束语

本工程采用强夯法进行地基处理取得了良好的效果。工程竣工验收后，实测的最大沉降值为

1.90 mm，最小沉降值为 1.01 mm，整体沉降均匀，完全满足规范的要求。工程总造价 15.1 万元，与其它的地基处理方案相比可节省投资 60% 以上，经济效益显著。

【参 考 文 献】

[1] 周 健, 张思峰, 贾敏才, 等. 强夯理论的研究现状及最新技术进展 [J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2 (3): 510-516.

[2] 徐至钧, 张亦农. 强夯法和强夯置换法加固地基 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[3] 郑颖人, 陆 新, 李学志. 强夯加固软粘土地基的理论研究与工艺研究 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22 (1): 18-22.

[4] JGJ79-2002 建筑地基处理技术规范 [S].

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

[6] 叶书麟. 地基处理工程实例应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[7] 陈 兰. 粘土的各向异性研究 [J]. 森林工程, 2007, 23 (4): 77-78.

[8] 高大钊. 地基基础测试新技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[责任编辑: 董希斌]