

碎石回填地基上 10000 kN·m 高能级强夯标准贯入试验

水伟厚¹, 王铁宏², 王亚凌³

(1. 上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 上海 200011; 2. 中华人民共和国建设部, 北京 100835;
3. 中化岩土工程有限公司 北京 102600)

摘要: 通过在沿海碎石土回填地基上成功实施的 10000 kN·m 高能级强夯系列试验 (3000, 6000, 8000, 10000 kN·m), 为 10000 kN·m 高能级强夯的设计、监测和检测提供了依据。本文根据不同能级强夯后地基的标准贯入试验分析与对比, 得到了碎石土地基上 10000 kN·m 强夯的有效加固深度等检测结果。建议若用于规范表格, 对碎石土、砂土等粗粒土在 10000 kN·m 强夯能级下的有效加固深度可取 13~16 m。

关键词: 高能级强夯; 10000 kN·m; 标准贯入试验, 有效加固深度

中图分类号: TU431 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2006)10-1309-04

作者简介: 水伟厚 (1976-), 男, 博士, 副主任工程师, 主要从事地基处理的设计、监测与检测技术研究。

SPT for dynamic compaction with 10000 kN·m high energy on foundation backfilled with crushed stone

SHUI Wei-hou¹, WANG Tie-hong², WANG Ya-ling³

(1. Shanghai Shenyuan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200011, China; 2. Ministry of Construction, P.R. China, Beijing, 100835, China; 3. China Zhonghua Geotechnical Engineering Co., Ltd, Beijing 102600, China)

Abstract: A series of energy levels of dynamic compaction (DC) (3000 kN·m, 6000 kN·m, 8000 kN·m and 10000 kN·m) were successfully used in practice on a rubble fills site in coastal area for the first time in China. The experiment provided the parameters for the design, construction and detection of 10000 kN·m DC. The monitoring results of standard penetration test (SPT) were analyzed and compared with those of other energy levels. Some conclusions such as effective depth of improvement (EDI) on rubble fills site with 10000 kN·m DC were acquired. It was suggested that the EDI should take 13~16 m for gravel and sand, which might be used in the Table 6.2.1 of Ground Treatment Code of China.

Key words: high energy level dynamic compaction; 10000 kN·m; standard penetration test(SPT); effective depth of improvement (EDI)

0 引言

在“10000 kN·m 高能级强夯时的地面变形与孔压试验研究^[1]”一文中, 曾对 10000 kN·m 高能级强夯试验过程中的地面变形和孔隙水压力的监测结果进行了对比分析, 得到了碎石土地基上 10000 kN·m 强夯的施工参数和孔压变化特征。本文介绍了系列试验中不同强夯能级作用下标贯试验的实测结果, 得出一些有实用意义的结论。以期为基础处理规范中强夯部分的修订和发展提供实用参数, 进而指导今后高能级强夯地基处理的工程实践^[2-5]。

1 地层概况与施工工艺

试验场地最大填土厚度为 11~14 m。主要为全风化~中风化砂砾岩开山回填土, 夹有较多大块山皮石,

10000 kN·m 试验区的钻孔柱状图见图 1。

主夯能级 10000 kN·m, 第一遍、第二遍夯点间距 10 m×10 m; 第三遍采用 3000 kN·m 能级插点夯, 满夯能级 1000 kN·m, 夯印搭接。10000 kN·m 主夯的功效在于处理更大深度地基, 3000 kN·m 插点夯的功效在于处理主夯点之间楔形土地基。夯点布置可参见文献^[1]中图 1。

系列试验进行了较为详尽的监测和检测。本文以 10000 kN·m 能级强夯试验前后标准贯入试验结果为主, 并与 3000, 6000, 8000 kN·m 的标贯试验结果做对比分析。

基金项目: 国家建设部科研攻关基金资助项目 (04-2-016); 上海现代建筑设计集团基金资助项目 (2004-结-地-03)

收稿日期: 2005-08-09

表1 10000 kN·m 试验区标准贯入试验对比表

Table 1 The comparison of SPT values before and after 10000 kN·m DC

土层名称	素填土		粉土		粉质粘土		粉质粘土	
	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后
标贯击数 N /击	24	34	5	10	22	28	30	35
承载力特征值 f_{ak} /kPa	200	280	80	180	240	260	270	280



图1 10000 kN·m 试验区钻孔柱状图

Fig. 1 Subsoil profile of test site of 10000 kN·m DC

2 标准贯入试验

10000 kN·m 强夯试验区夯前布置标贯孔3个, 编号为 T1、T2、T3; 夯后布置标贯孔3个, 编号为 H1、H2、H3, 其中 H1 布置在夯点上, H2、H3 布置在夯间上。

在强夯前, 由于试验场地有重型运输车辆的来回碾压, 表层土体的强度很高, 如 T1 和 T2 孔在表层 1.5 m 范围内土体的标贯击数均超过 50 击, 但在 1.5 m 以下虽为相同材料的开山片石填土, 但其标贯击数迅速降到 24~27 击, 这也从侧面说明对此种场地若采用碾压方法, 其处理深度非常有限, 仅在 1.5 m 左右。没有车辆碾压的表层土体的标贯击数大约在 25 击左右, 如 T3 孔。去除表层碾压影响后根据夯前、夯后标贯值绘出了标贯击数对比曲线, 详见图 2, 夯前、夯后各土层平均标贯值和承载力特征值见表 1。

从表 1 和标贯对比曲线图 2 可以看出: 第一层素填土、第二层粉土和第三层粉质粘土夯后标贯击数提高较明显, 而第四层粉质粘土略有提高。为与之对比, 图 3 绘出了 3000, 6000, 8000, 10000 kN·m 能级强夯前后标贯击数增量对比图。标贯击数增量指的是强夯

后的标贯击数与相应层位强夯前的标贯击数之差, 如果其差值大于零(在纵轴的右侧)即表示强夯后的标贯值大于相应层位强夯前的值。图中共汇集了 44 组标贯数据。这些数据中既有强夯试验区的检测数据, 也有大面积施工区的检测数据。

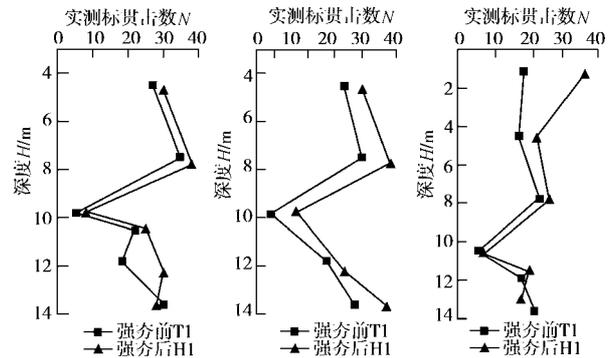


图2 ZK1、ZK2 和 ZK3 在 10000 kN·m 强夯前后的标贯曲线对比

Fig. 2 The SPT values of ZK1, ZK2 & ZK3 before and after 10000 kN·m DC

各能级下 ΔN 平均值的拟合曲线对比见图 4。工程设计要求回填碎石土层底部 $f_{ak} \geq 150$ kPa, $E_s \geq 15$ MPa。利用标贯试验的实测结果, 按文献[6]的有效加固深度的定义、确定方法和判定标准及与影响深度的区别, 并结合夯前资料可判定: 3000 kN·m 的有效加固深度为 7.5 m, 影响深度为 8.5 m; 6000 kN·m 的有效加固深度为 9.5 m, 影响深度 10.7 m; 8000 kN·m 的有效加固深度为 11 m, 影响深度 13.9 m。

从 10000 kN·m 试验区在强夯前后的 3 组标贯试验结果图 3 和图 4 分析, HT3 孔的有效加固深度为 12 m, 由于场地条件所限, 14.5~15.5 m 以下为强风化砂砾岩, HT1 和 HT2 孔的加固深度已达到了砂砾岩层表面, 故由 3 个孔的 6 次试验数据和图 4 的标贯增量拟合曲线分析, 10000 kN·m 的有效加固深度达 15 m。结合地面变形和孔压监测结果建议: 若用 Menard 公式计算^[6]有效加固深度, 其修正系数为 0.45; 若用于规范表格 6.2.1^[2], 对碎石土、砂土等粗粒土有效加固深度取 13~16 m。

由图 3 和图 4 还可以看出, 强夯能级在 3000~8000 kN·m 时, 加固深度和加固程度大致呈线形增长;

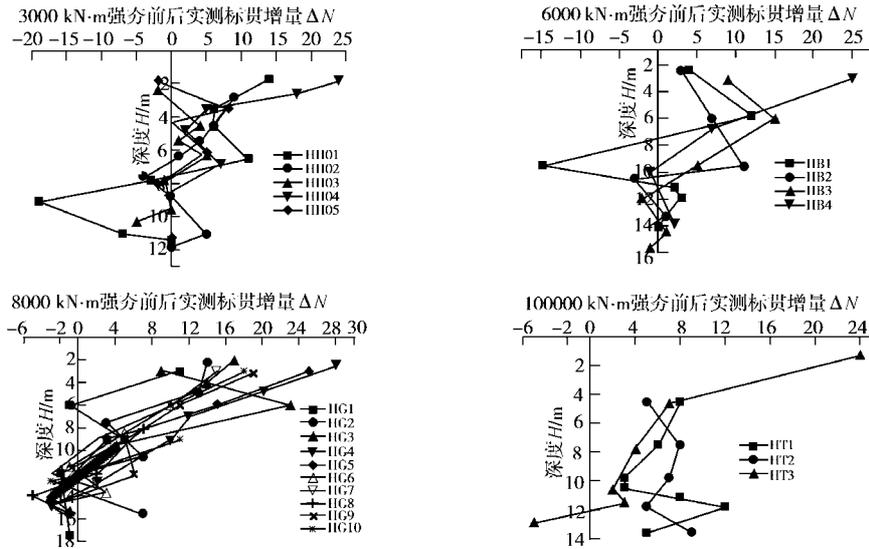


图 3 3000, 6000, 8000, 10000 kN·m 能级强夯前后标贯击数增量对比图

Fig. 3 The increments of N of SPT before and after 3000, 6000, 8000 kN·m & 10000 kN·m DC

当能级达到 10000 kN·m 时, 加固深度出现较大增长, 比 8000 kN·m 增长了 4 m, 增长幅度达到 36.4%; 比 6000 kN·m 增长了 5.5 m, 增长幅度达到 58%。由于 10000 kN·m 能级的夯坑较深^[1], 深层加固效果优于中低能级, 浅层的加固程度低于其他能级。如在 10 m 以上, 加固程度略低于 8000 kN·m, 在 4.2 m 以上略低于 6000 kN·m。所以对主夯能级为 10000 kN·m 的强夯地基, 应加大普夯能量或(和)增加普夯遍数, 或将主夯点亦做为插点夯夯点, 以提高浅层地基土的加固效果。

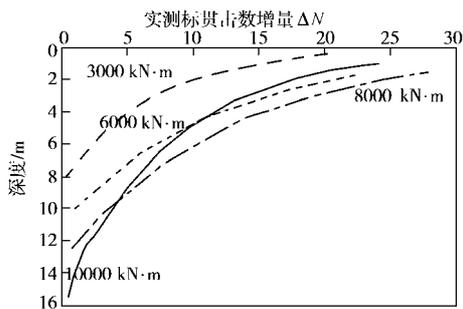


图 4 不同能级下标贯击数增量拟合对比图

Fig. 4 The fitting curves of increment of N at different energy levels

3 结 语

本文通过在某碎石场地进行的 3000, 6000, 8000, 10000 kN·m 能级的试验与大面积施工研究, 据标贯试验结果评价强夯试验效果, 获得了采用高能级强夯进行地基处理设计的实用的相关参数。

(1) 第一层素填土、第二层粉土和第三层粉质粘土夯后标贯击数提高较明显, 而第四层粉质粘土略有

提高。

(2) 3000 kN·m 的有效加固深度为 7.5 m, 影响深度为 8.5 m; 6000 kN·m 的有效加固深度为 9.5 m, 影响深度 10.7 m; 8000 kN·m 的有效加固深度为 11 m, 影响深度 13.9 m。

(3) 由多组试验数据和标贯增量拟合曲线分析, 10000 kN·m 的有效加固深度达 15 m; 若用 Menard 公式计算, 其修正系数为 0.45; 若用于规范表格, 建议对碎石土、砂土等粗粒土取 13~16 m。

(4) 强夯能级在 3000~8000 kN·m 时, 加固深度和加固程度大致呈线性增长; 当能级达到 10000 kN·m 时, 加固深度出现较大增长, 比 8000 kN·m 增长了 4 m, 增长幅度达到 36.4%; 比 6000 kN·m 增长了 5.5 m, 增长幅度达到 58%。

(5) 由于 10000 kN·m 能级的夯坑较深, 深层加固效果优于中低能级, 浅层的加固程度低于其他能级, 故对主夯能级为 10000 kN·m 的强夯地基应加大普夯能量或(和)增加普夯遍数, 或将主夯点亦做为插点夯夯点, 以提高浅层土的加固效果。

本课题的试验结果可供沿海碎石土回填料地基、山区回填料地基和大厚度的湿陷性土地基处理参考, 对华北、东北的粉砂土地基以及经过预处理形成排水通道适宜强夯的淤泥质土等的地基处理亦可借鉴。

参考文献:

[1] 王铁宏, 水伟厚, 王亚凌, 裴捷. 10000 kN·m 高能级强夯地面变形与孔压试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 759 - 762. (WANG Tie-hong, SHUI Wei-hou, WANG Ya-ling, et al. Experimental research on the ground deformation and

- pore water pressure during 10000 kN.m high energy level dynamic compaction[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(7): 759 - 762.)
- [2] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (JGJ79—2002 Technical Code for Ground Treatment of Building [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002.)
- [3] 王铁宏. 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, 1998. (WANG Tie-hong. Case histories in ground treatment of great engineering of China[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1998.)
- [4] 水伟厚. 冲击应力与 10000 kN·m 高能级强夯系列试验研究 [D]. 上海: 同济大学, 2004. (Shui Wei-hou. Impact stress and 10000 kN·m series of experimental investigations of high energy level dynamic compaction[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.)
- [5] 水伟厚, 高广运, 王亚凌, 吴延炜. 湿陷性黄土在强夯作用下的非完全弹性碰撞与冲击应力解析[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(5): 92 - 97. (SHUI Wei-hou, GAO Guang-yun, WU Yan-wei, et al. Non-perfect elastic collision & impact stress analysis during DC on collapsible loess[J]. Journal of Building Structures, 2003, 24(5), 92 - 97.)
- [6] 王铁宏, 水伟厚, 王亚凌, 吴延炜. 强夯法有效加固深度的确定方法与判定标准[J]. 工程建设标准化, 2005(3): 27 - 38. (WANG Tie-hong, SHUI Wei-hou, WANG Ya-ling, et al. The definite method and decision criterion on effective depth of dynamic compaction improvement[J]. Standardization of Engineering Construction, 2005(3), 27 - 38.)

《岩土工程学报》2006年第28卷第6期被EI收录论文(23篇)

论文题目	作者	页码
未打穿竖向排水井地基固结理论	谢康和, 周开茂	679~684
混凝土波速受检测方法影响的研究	陈龙珠, 沙玲, 邓俊杰	685~688
中国红层边坡岩体结构类型的研究	胡厚田, 赵晓彦	689~694
钻孔桩泥皮土与桩间土性状试验研究	张忠苗, 张广兴, 吴庆勇, 辛公锋	695~699
土体极限分析定理的证明与广义流动法则	黄传志	700~704
含碎石粘性土边坡渗流系统的物理模拟试验	俞伯汀, 孙红月, 尚岳全	705~708
相互作用体系中桩基的动力响应	钱德玲, 雷超, 王东坡, 孙昌玲	709~714
深水港码头高承台桩土共同作用数值模拟分析	谢雄耀, 黄宏伟, 张冬梅	715~722
采用中心圆孔裂缝平台圆盘确定岩石的动态断裂韧度	张盛, 王启智	723~728
非饱和土层中桩的扭转振动响应分析	张智卿, 王奎华, 谢康和	729~734
基于M-C准则的D-P系列准则在岩土工程中的应用研究	邓楚健, 何国杰, 郑颖人	735~739
公路隧道衬砌断面型式模型试验研究	来弘鹏, 谢永利, 杨晓华	740~744
砂土在小应变下考虑应力路径影响的本构模型的试验研究	赖勇, 施建勇, 雷国辉	745~749
引入修正因子的非等时距时变参数灰色预测模型及应用	周宁, 傅鹤林, 郭建峰, 龙万学	756~760
Grillage beams on elastic foundation analyzed by a semi-analytical and semi-numerical method (十字交叉梁与地基共同作用的半解析半数值分析方法)	HE Chun-Bao(何春保), CAI Jian(蔡健)	761~766
条带开采煤柱破坏宽度计算分析	王连国, 缪协兴, 王学知, 李青峰	767~769
某水电站边坡开挖爆破震动动力响应有限元分析	许名标, 彭德红	770~775
碱厂白泥作为填埋场衬层防渗土料的探索研究	刘兴超, 金春姬, 曹焯, 彭刚	776~779
基于亚塑性理论的无粘性土压缩试验应力应变的研究	王洪波, 邵龙潭, 张学增	780~783
应用离心模型试验分析涵洞病害机理	康佐, 谢永利, 冯忠居, 杨晓华	784~788
块石通风性能实验研究	何平, 程国栋, 马巍, 吴青柏	789~792
岩石粘弹塑性本构关系及改进的Burgers蠕变模型	袁海平, 曹平, 许万忠, 陈沅江	796~799
大丽线铁路隧道工程地应力三维有限元数值模拟分析	李金锁, 彭华, 马秀敏, 石振荣, 黎建文, 杨邵喜	800~803