

10 000kN·m 高能级强夯振动加速度实测分析^{*}

水伟厚 朱建锋

(上海现代建筑设计集团 申元岩土工程有限公司 上海 200011)

摘要: 通过在沿海某碎石回填地基上成功实施的 10 000kN·m 高能级强夯系列试验,为 10 000kN·m 高能级强夯的设计、监测和检测提供了依据。根据对试验过程中地面振动加速度的监测分析,得到了碎石土地基上 10 000kN·m 强夯施工时的加速度衰减方程和传播特点,可用于分析高能级强夯地基处理的环境效应。

关键词: 高能级强夯 10 000kN·m 振动加速度 衰减

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VIBRATION DURING 10 000kN·m HIGH ENERGY LEVEL DYNAMIC COMPACTION

Shui Weihou Zhu Jianfeng

(Shanghai Shen Yuan Geotechnical Engineering Co., Ltd. Shanghai 200011)

Abstract: 10 000kN·m energy levels of experiment dynamic compaction are successfully put in practice on a rubble fill site in a coastal area. The experiment provided the parameters for the design, construction and detection of 10 000kN·m dynamic compaction. The monitoring results of ground vibration acceleration were analyzed. The attenuation equation and transmit characteristic of 10 000kN·m dynamic compaction on rubble fill site during 10 000kN·m were acquired. It can be used to estimate the environment affect during high energy level dynamic compaction.

Keywords: high energy level dynamic compaction 10 000kN·m vibration acceleration attenuation

强夯法是一种经济高效的地基处理方法,但施工时产生的振动和噪音,尤其是高能级强夯施工时产生的振动影响亟待研究^[1]。噪音扰民,振动可能在一定范围内对其他建(构)筑物及其内安装和使用的设备、仪表仪器等产生不利影响,这也是强夯法进一步发展的瓶颈^[2]。为了确定在碎石回填地基上进行 10 000kN·m 强夯施工时,强夯振动对邻近建筑物的影响效应及影响距离,本试验进行了振动测试,对强夯振动影响做出了评估。以期在近年工程实践和本课题试验研究的基础上,为地基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^[3,4]。

1 场地地质概况

试验场地主要由低山残丘和山前冲积平原两个地貌单元组成,最大填土厚度为 11~14m。不同深度夹有较多大块开山石,最大粒径在 50cm 以上,个别达 1.2~2.0m。试验区通过夯前勘探揭露,地层可分为 5 层,见图 1。场地自上而下分别为:①层为开山回填土,主要为砾石和砂砾石,含少量黏性土,级配较差。②层为粉土,其平均含水量 24.3%,液性指数 0.83,孔隙比 0.698,压缩系数 0.30MPa^{-1} ,压

缩模量 4.80~7.48MPa,属中等压缩性土。③层为粉质黏土,平均含水量 29.9%,液性指数 0.39,孔隙比 0.842,压缩系数 0.44MPa^{-1} ,压缩模量 2.79~7.53MPa,平均 4.52MPa,属中等压缩性土。④层为粉质黏土,平均含水量 22.8%,孔隙比 0.725,液性指数 0.30,压缩系数 0.40MPa^{-1} ,压缩模量 4.19MPa,属中等压缩性土。

2 施工工艺

强夯能级为 10 000kN·m,锤重 400kN,采用圆形铸铁 180kN 和 220kN 的组合锤,直径 2.6m,落距 25m。使用自行改装的杭重 W200A 型履带式起重机,臂杆高度加长至 31.2m,门架高度加长至 33.5m,自动脱钩。

10 000kN·m 能级第一遍、第二遍夯点间距 $10\text{m}\times 10\text{m}$,停夯标准为最后 2 击的平均夯沉量不大于

^{*}建设部科研攻关基金资助项目“高能级强夯地基加固机理工法研究与专用机械研制”(编号:04-2-016);现代建筑设计集团基金项目“高能级强夯与预处理动力固结法研究”(编号:2004-结-地-03)。

第一作者:水伟厚 1976年10月生 男 博士 国家注册土木工程师(岩土)

收稿日期:2005-08-17

岩土名称	地层描述	柱状图	厚度/m	深度/m
素土层	黄、红褐色，块石大小不一，钻进困难，为人工回填，较密实。		8.20	8.20
粉土	上部为黄褐色，含少量中粗砂、砾砂，中塑性。下部为黑灰砂，含大量腐植物。		2.60	11.0
粉质黏土	黄褐色，含少量中粗砂、砾砂，中塑性。		2.00	13.0
粉质黏土	红褐色，含少量中粗砂、砾砂，中塑性。		2.30	15.3
强风化岩	红褐色，为强风化砂砾岩。		6.90	22.2

图1 10 000kN·m 试验区钻孔柱状图

10cm, 夯击次数约为 16 击; 然后采用 3 000kN·m 能级普夯一遍, 停夯标准为最后 2 击的平均夯沉量不大于 5cm, 夯击次数 8 击左右, 3 000kN·m (锤重 180kN, 落距 16.7m) 夯点布置是在第一、二遍相邻两个主夯点中间插点, 其中第一、二遍夯点也是 3 000kN·m 夯点; 第四遍满夯 1 000kN·m (锤重 100kN, 落距 10m), 夯击次数 2 击, 要求夯印彼此搭接 1/3, 夯点布置见图 2。10 000kN·m 强夯的能效在于处理更大深度地基, 2 000kN·m 强夯的能效在于处理夯间楔形土地基。

3 振动加速度测试

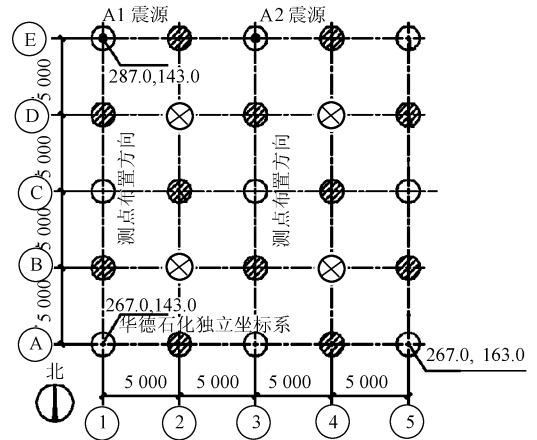
3.1 检测场地与时机的选择

因夯实地地(已夯完第一遍, 未夯第二遍)与自然场地(原始场地)相比, 密实度较大, 波速较高, 振动的传播影响也较大, 又因为夯实地地的强夯能量(进行第二遍夯时)远比第三遍加固夯和第四遍满夯的能量大, 故在夯实地地进行第二遍强夯时布点测试其加速度的传播特性, 以分析强夯对此类场地周边环境的影响。

3.2 强夯施工概况及监测点布设

本次强夯监测共布设 2 条测线共计 14 个测点, 两条测线平行分布, 间距 10m, 监测点等距分布, 间距 20m, 从距震源(强夯点) 40m 起测, 一直监测到 160m。加速度测试的震源(强夯点)见图 2。监测前

先进行场地现场噪音和振动情况收集, 以便排除干扰波的影响。



○—第一遍夯击点, 量级 10 000kN·m; ⊗—第二遍夯击点, 量级 10 000kN·m; ⊙—第三遍为逐点夯击, 量级 3 000kN·m

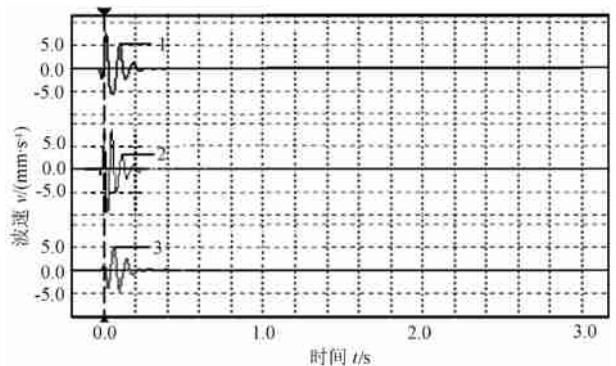
图 2 10 000kN·m 夯点位置及监测点布置 mm

3.3 监测实施过程

本次监测使用美国进口的最新数字强震仪, 该套仪器由三分量加速度传感器、数据采集器、多媒体笔记本电脑加上 GPS 天线、供电系统及其他附属设施组成。进行夯击监测时, 将仪器架设在预先布设好的监测点上, 夯击引起的振动由强夯点经过传播介质传输到地面, 加速度传感器监测到振动信号后, 将其转换成电信号送入数据采集器中完成放大、采集等一系列工作^[2]。

3.4 夯击加速度数据处理结果

夯击监测表明, 强夯振动波形除幅值不同外, 其波形基本相似。每一测点的加速度均分为径向(测点与夯击点连线方向相同)、切向(测点与夯击点连线方向垂直且平行于水平面)和竖向向三个方向, 加速度数据见表 1 和表 2。典型的强夯振动记录见图 3。



1—径向振动速度; 2—竖向振动速度; 3—横向振动速度

图 3 实测的强夯振动速度

根据对实测数据的分析, 强夯振动传播变化的规律表现为:

1) 不论径向、切向还是竖向, 其加速度值均随距夯点的距离增大而减小;

2) 加速度值随夯击数的增加而逐渐增大;

3) 就同一点的三个方向上来说, 加速度值径向最大, 竖向次之, 切向最小;

4) 10 000kN·m 场地上距夯点 40m 处的径向加速度约为 0.1g, 80m 处的径向加速度平均值为 0.041g;

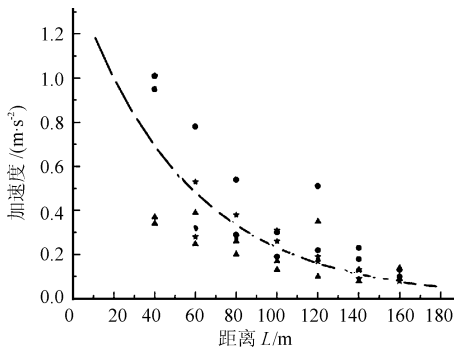
图 4 给出了实测的地基土表面最大径向加速度、最大切向加速度和最大竖向加速度随水平距离增加而衰减的规律, 从图 5 可以看出, 强夯引起的最大加速度(径向、切向、竖向)随监测距离增大按负幂函数曲线的形式急剧衰减, 径向加速度的衰减规律可拟合为:

$$a = 1.44e^{-0.0183L} \quad (1)$$

式中, a 为加速度, m/s^2 ; L 为加速度测试点距夯击点的距离, m。

利用式(1)可以计算此类碎石回填场地在 10 000kN·m 能级强夯时不同距离处的加速度值。

需要指出的是式(1)是在 10 000kN·m 能级强夯时碎石土场地上得到的结论, 在其他土质条件下系数会有所不同, 但规律基本一致。



●—径向; ▲—切向; —竖向; ———拟合线

图 4 实测加速度随距离的衰减数据

表 1 1 号测线加速度数据 m/s^2

方向	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m
	第 9 锤	第 10 锤	第 11 锤	第 12 锤	第 13 锤	第 14 锤	第 15 锤
径向	0.95	0.32	0.54	0.19	0.51	0.23	0.10
切向	0.34	0.39	0.20	0.13	0.35	0.08	0.14
竖向	1.01	0.28	0.28	0.31	0.19	0.09	0.08
烈度	VIII	V	VI	IV	VI	IV以下	IV以下

表 2 2 号测线加速度数据 m/s^2

方向	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m
	第 9 锤	第 10 锤	第 11 锤	第 12 锤	第 13 锤	第 14 锤	第 15 锤
径向	1.10	0.78	0.29	0.30	0.22	0.18	0.13
切向	0.37	0.25	0.26		0.10	0.13	0.09
竖向	0.95	0.53	0.38	0.26	0.17	0.13	0.08
烈度	VII	VI	V	V	VI	IV以下	IV以下

根据我国新一代地震烈度表的双控原则, 本试验对测得的距夯点不同距离处的最大加速度和速度值与地震烈度表的规定对比, 推算按地震烈度 VI 度评定, 则水平向影响距离约 100m, 距离越远, 影响则越小。另外, 根据测试情况看, 强夯振动的第一周期幅值较大, 而后急剧衰减, 一般在 1~2s 衰减完毕。

4 结 语

1) 布点测试强夯振动加速度的传播特性和分析对周边环境的影响宜在夯实地点进行第二遍强夯时进行。

2) 10 000kN·m 场地上距夯点 40m 处的径向加速度约为 0.1g, 80m 处的径向加速度平均值为 0.041g。

3) 强夯引起的振动加速度随距离增大按负幂函数形式急剧衰减, 强夯振动的第一周期幅值较大, 振动衰减时间一般为 1~2s。

4) 不论径向、切向还是竖向, 其加速度值均随距夯点的距离增大而减小。

5) 就同一点的三个方向上来说, 加速度值径向最大, 竖向次之, 切向最小。

6) 加速度值随夯击数的增加而逐渐增大。

参 考 文 献

- 1 王铁宏. 全国重大工程项目地基处理工程实录. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 2 水伟厚. 冲击应力与 10 000kN·m 高能级强夯系列试验研究: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2004
- 3 王铁宏, 水伟厚, 高广运, 等. 高能级强夯工程应用与发展述评// 第九届土力学与岩土工程学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2003: 723-728
- 4 水伟厚, 高广运, 王亚凌, 等. 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. 建筑结构学报, 2003, 24(5): 92-97

参 考 文 献

- 1 张振营, 吴世明, 陈云敏. 城市生活垃圾土性参数的室内试验研究. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 35-39
- 2 施建勇, 卢廷治, 朱俊高, 等. 城市生活垃圾变形性质试验研究. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(增): 131-134
- 3 胡敏云, 陈云敏. 城市生活垃圾填埋场沉降分析与计算. 土木工程学报, 2001, 34(6): 88-92

(上接第 36 页)

由于建筑垃圾物质成分比较复杂, 粒径颗粒相差较大, 因此进行常规室内力学试验很困难, 本文对其变形特性曲线分析中仅根据现场实测为依据进行分析, 缺乏定量描述, 这将在下一步工作中进行完善和改进。