

混凝土夯扩桩浅部缺陷的测试及实例分析

谭贱儿, 胡国强

(江西中昌工程桩基检测有限公司, 江西 南昌 330038)

摘要:列举了应用反射波法对混凝土夯式扩底灌注桩几种缺陷的典型测试曲线,通过缺陷桩的开挖,验证了测试结果,分析了产生缺陷的原因。

关键词:夯扩桩;桩基检测;反射波法;桩身缺陷;缩颈;离析;空洞;断桩

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)04-0043-04

Inspection on Defect in Cement Rammed Compaction Pile and the Case Analysis/TAN Jian-er, HU Guo-qiang (Jian-gxi Zhongchang Engineering Pile Inspection Co., Ltd, Nanchang Jiangxi 330038, China)

Abstract: This paper enumerates several typical test curves of defects in cement rammed-bottom-enlarged compaction pile with reflected wave method. Inspection result was verified by excavating the defective piles, and the causes of such defects were analyzed.

Key words: rammed compaction pile; pile foundation inspection; reflected wave method; defect in pile body; diameter-reducing; separation; cavity; pile broken

在多层、小高层建筑的桩基应用中,混凝土夯式扩底灌注桩因其是一种承载力较高,施工期短,造价较低,经济效益好的桩型,故目前在南昌地区较多采用。由于混凝土夯式扩底灌注桩属现场浇注的挤土桩型,主要的技术问题是施工质量不易控制,施工中稍有不慎就可能造成施工质量问题,特别是浅部容易出现缩颈、离析、空洞、断桩等缺陷。我们通过对 3 万多根夯扩桩进行的反射波法测试和对数百根桩的开挖对比验证,取得了比较丰富的测试经验和比较满意的应用效果。本文就应用反射波法对混凝土夯扩桩浅部缺陷的判定和对产生缺陷的原因进行分析和讨论。

1 混凝土夯式扩底灌注桩施工工艺

混凝土夯式扩底灌注桩是一种以夯扩头支承力为主,桩身侧摩阻力为辅的挤土桩。施工时由强大的锤击力通过内夯管直接传给桩端部现浇混凝土和地基土夯扩挤压成型,既增加桩端截面积,又改善了地基密实度,桩承载力得到大幅度的提高。一般施工工艺为:

- (1) 采用柴油锤夯击,将内外管沉到设计标高;
- (2) 拔出内管,分批向外管内投入混凝土和混凝土干混合料;
- (3) 一边用内管(细长锤)反复夯实、挤密,一边

将外管上拔一定高度,在桩端形成扩大头;

(4) 拔出内管,放置钢筋笼,灌注桩身混凝土;

(5) 再拔外管,拔外管的同时将柴油锤和内管压在管内混凝土面上,边拔边压。

2 反射波法检测原理

夯式扩底灌注桩桩身直径 400 ~ 500 mm,一般情况下桩长远大于桩径,因此可把桩体视为一维的弹性杆件,并满足一维波动方程:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

其中 $c^2 = E/\rho$

应力波反射法主要是检测桩身缺陷及其位置,判定桩身完整性。当在桩顶施以轴向的振动或锤击等激励能量时,桩身产生应力波形式沿桩身以波速 c 向下传播,当遇到桩阻抗 Z 变化界面时(如桩身存在断裂、裂缝、扩颈、缩颈、夹异物、离析等缺陷),将在变异的阻抗界面产生反射和透射现象,一部分应力波产生反射向上传播,另一部分应力波产生透射向下传播至桩端,在桩端处又产生反射。由安装在桩顶的加速度或速度传感器,接收反射波信号,并由测桩仪进行信号放大处理后,得到加速度或速度时程曲线,从时程曲线的形态特征可以判断阻抗变化位置,根据桩身平均波速 c ,对照施工桩长 L ,判定是

收稿日期:2007-08-03

作者简介:谭贱儿(1972-),男(汉族),江西新干人,江西中昌工程桩基检测有限公司检测一室主任,探矿工程专业,从事桩基检测工作,江西省南昌市红谷滩洪城时代广场 5 号楼三楼, tje203@sina.com。

否为缺陷或桩底反射。

波阻抗:

$$Z = EA/c = \rho cA, E = c^2 \rho$$

式中: E ——材料弹性模量; ρ ——介质密度; c ——应力波沿杆身传播速度; A ——截面积。

图 1 中在截面变化 $a - b$ 处 $A_1 > A_2$, 则 $Z_1 > Z_2$, 产生与入射波同相的反射, 桩缺陷表现为缩颈; 如果 $A_1 = A_2$, 介质密度 $\rho_1 > \rho_2$, 在两种介质的界面处产生的反射波为同相反射, 桩缺陷表现为离析; 对完整桩, 波阻抗无变化, 只有在桩端产生同相反射波, 即桩底反射。

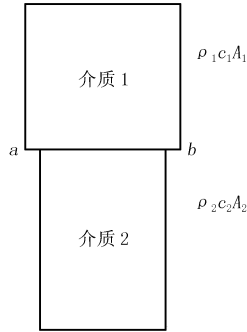


图 1 缺陷模型示意图

桩身缺陷位置: $\Delta L = \Delta t \cdot c/2$

式中: ΔL ——桩顶至缺陷位置的距离; Δt ——入射波与缺陷位置反射波的时间差。

如果 Δt 是反射波到桩底反射波的时间差, ΔL 就是桩长。

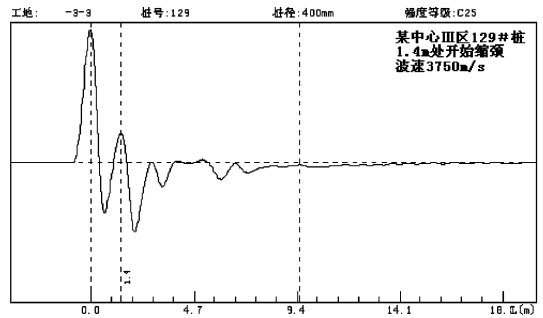


图 3 某中心 III 区 129 号桩缩颈桩波形图



图 4 某中心 III 区 129 号桩开挖情况

3 测试实例

南昌地区混凝土夯式扩底灌注桩桩端持力层一般为中、粗砂或砾砂层, 桩长一般为 8 ~ 18 m, 我们使用岩海 RS - 1616K (P) 型桩基动测仪, IC 压电加速度传感器接收信号, 黄油等粘合剂为耦合剂, 激震器用尼龙锤或铁锤。完整桩的测试曲线见图 2。而缺陷桩的测试曲线与此有明显差异。

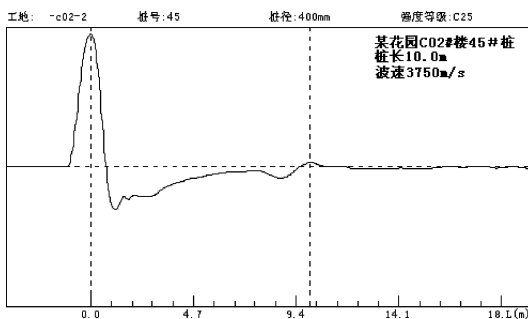


图 2 某花园 C02 号楼 45 号桩完整桩波形图

3.1 缩颈桩

图 3 是某中心 III 区 129 号桩的实测曲线, 在 1.4 m 处有明显的同相反射峰, 且有二次反射峰, 桩底反射不明显。该桩 1.4 m 处开始缩颈, 1.8 m 处 400 mm 桩径仅为 250 mm, 缺陷段长 0.8 m, 图 4 是开挖后的照片。

3.2 离析桩

图 5、6 是某花园 G02 号楼 86 号桩的实测曲线, 均有桩底反射, 图 5 曲线激震器为铁锤, 缺陷位置反射峰明显, 开挖后 (图 7) 在距桩顶 0.8 m 处钢筋笼变形, 产生离析, 混凝土有蜂窝、气孔; 图 6 曲线激震器为尼龙锤, 缺陷位置不好判断。

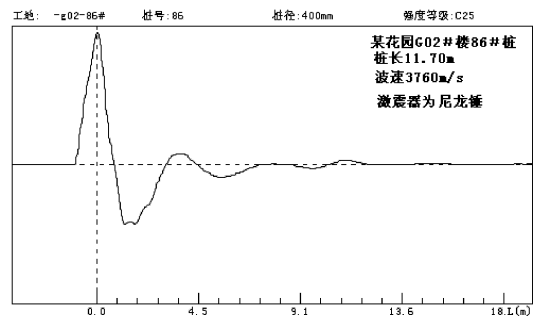


图 5 离析桩波形 (一)

3.3 严重离析桩

图 8、9 为某花园 G02 号楼 155 号桩的实测曲线, 图 8 曲线激震器为铁锤, 曲线特征为双峰大低频, 没有桩底反射, 缺陷位置反射峰明显, 开挖后 (图 10) 在距桩顶 0.9 m 处开始严重离析, 只有卵砾

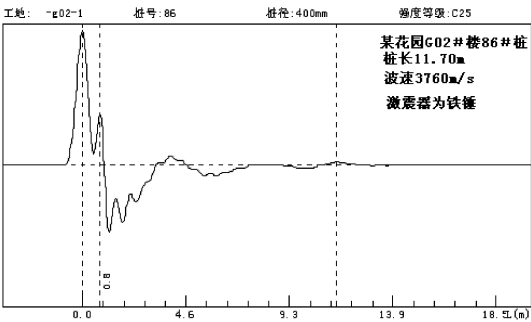


图 6 离析桩波形(二)



图 7 某花园 G02 号楼 86 号桩开挖情况

石,挖到 3.0 m 还是离析;图 9 曲线激震器为尼龙锤,曲线特征为大低频,没有桩底反射,缺陷位置不好判断。

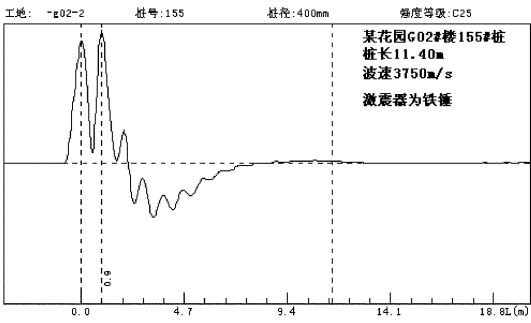


图 8 严重离析桩波形(一)

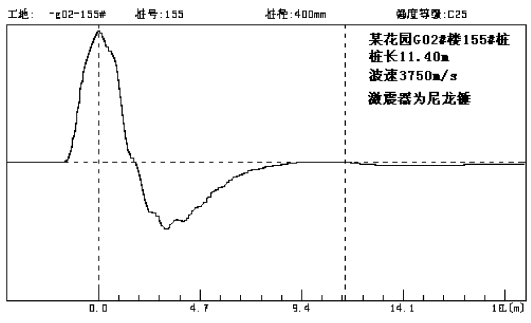


图 9 严重离析桩波形(二)

3.4 桩身有空洞桩

图 11、12 为某花园 D10 号楼 124 号桩的实测曲



图 10 某花园 G02 号楼 155 号桩开挖情况

线,图 11 曲线激震器为铁锤,曲线特征为台阶锯齿状,没有桩底反射,缺陷位置反射峰明显,开挖后(图 13)在距桩顶 1.9 m 处开始有空洞,凿开后发现有 3 块大石块在钢筋笼内架桥,造成空洞;图 12 曲线激震器为尼龙锤,曲线特征为双峰 M 型,没有桩底反射,缺陷位置也容易判断。

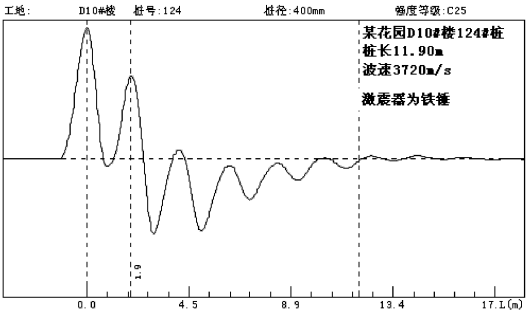


图 11 桩身有空洞桩波形(一)

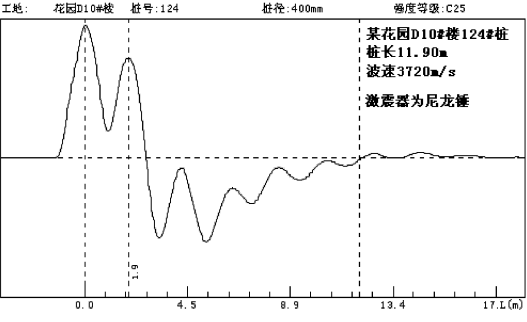


图 12 桩身有空洞桩波形(二)

3.5 断桩

图 14 为某花园 G03 号楼 12 号桩的实测曲线,激震器为铁锤,曲线特征为双峰低频大震荡,没有桩底反射,缺陷位置反射峰明显,开挖后(图 15)在距桩顶 1.1 m 处有明显裂缝,为机械开挖损桩;图 16 为某工地 95 号桩的实测曲线,激震器为尼龙锤,曲线特征为出现明显等间距的二次、三次甚至四次缺陷反射,没有桩底反射,开挖后在距桩顶 2.4 m 处有明显裂缝。



图 13 某花园 D10 号楼 124 号桩开挖情况

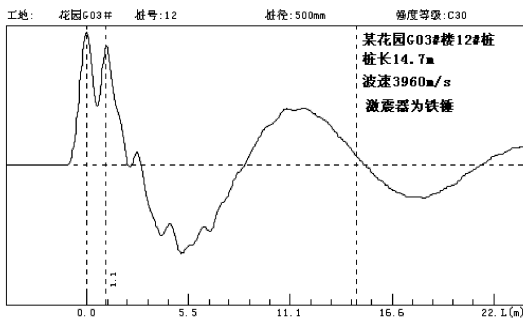


图 14 断桩波形(一)



图 15 某花园 G03 号楼 12 号桩开挖情况

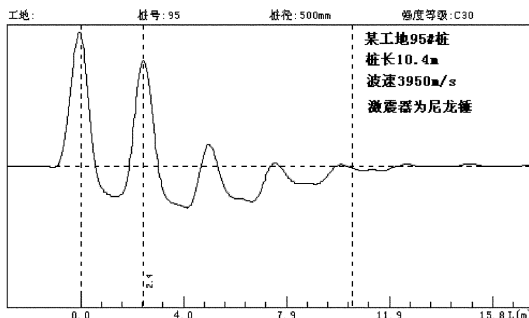


图 16 断桩波形(二)

4 问题分析

由于夯扩桩机无振动机械或振动力较小,桩身质量较其他灌注桩更难控制,特别是浅部出现缩颈、离析、空洞、断桩等缺陷时,最主要的因素是施工因素,也有地质条件和设计等因素,往往是两种或两种以上因素综合作用造成的。

混凝土夯式扩底灌注桩属于挤土灌注桩,缩颈一般发生在淤泥质土地层中或地层变化的交界面上,施工中拔管速度过快,设计的部分桩间距较小,没有跳打时容易发生缩颈,甚至断桩。某公寓南楼在施工了 30 多根桩后,施工人员发现在沉管时周围已灌注好混凝土的桩发生钢筋笼振动、混凝土冒浆现象,采用跳打后再没有发生。对发生混凝土冒浆现象的桩进行检测,均发现在粉质粘土和粗砂层的交界面上存在不同程度的缩颈,甚至有一根断桩,立即进行补桩处理。

混凝土夯式扩底灌注桩在成桩过程中一般靠混凝土的自重塌落或将柴油锤和内管压在管内混凝土面上挤压压实完成,在混凝土的骨料级配、水灰比、塌落度未控制好,上部混凝土没有振捣时,易形成离析、空洞等缺陷,如图 11、12、13 所示的某花园 D10 号楼 124 号桩。如果钢筋笼露出混凝土顶面,在将柴油锤和内管压在管内混凝土面上时,容易将钢筋笼压曲变形,在钢筋笼变形回弹时会出现离析或断桩。

夯式扩底灌注桩在成桩过程中如果封底不牢,发生管内透水时,会造成严重离析,如图 8、9、10 所示的某花园 G02 号楼 155 号桩,事后只得重新进打桩机进行补桩处理。

夯式扩底灌注桩桩径较小,在采用大挖机机械开挖,操作人员不熟练时,很容易将桩挖断,某商业街车库工程,上部地层为松散的吹填砂,采用大挖机机械开挖,检测到 300 多根断桩,断桩部位从 0.3 ~ 2.5 m 不等,有些桩断成数段。

5 结语

本文列举了几种浅部缺陷桩的典型曲线,实际测试工作中得到的曲线一般是很复杂的,如采用不同的激震器会得到不同的测试曲线:铁锤敲击桩面产生的激励脉冲高频丰富,脉冲宽度窄,容易识别桩身浅部缺陷,但其应力波衰减快,对深部缺陷识别较难,而且容易产生高频干扰,曲线出现毛刺,现场判断困难;而尼龙锤激励脉冲宽度较宽,低频丰富,其

(下转第 52 页)

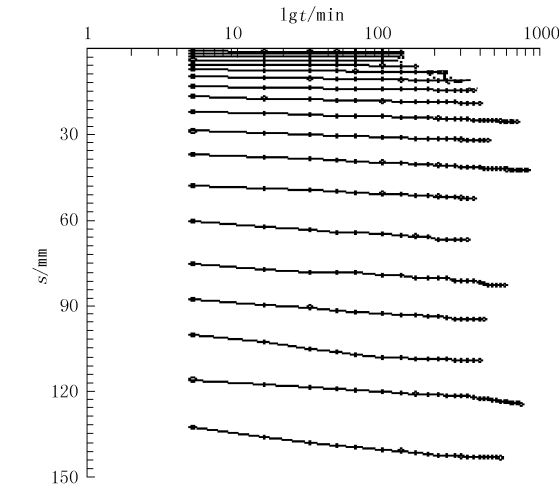


图 4 试桩的 $s - lgt$ 曲线

注:从上到下依次是 1200、1800、2400、3000、3600、4200、4800、5400、6000、6600、7200、7800、8400、9000、9600、10200、10800、11400、12000 kN。

试验成果见表 6。从表中数据可以看出,桩侧及桩端阻力发挥比较均衡,充分说明后压浆技术对于改善桩体受力的适用性。

4 结语

该工程成功应用后压浆技术,克服了钻孔灌注

表 6 高应变试验成果汇总表

桩号	单桩极限承载力/kN			所占比例/%		模拟静载沉降量/mm	
	总阻力	侧摩阻力	端阻力	桩侧	桩端	桩顶	桩端
Z1	8026.5	4717.2	3309.3	58.8	41.2	20.8	17.0
Z2	5732.8	3164.5	2568.3	55.2	44.8	18.2	12.5
Z3	7501.6	4523.5	2978.1	60.3	39.7	20.1	16.4

桩传统施工工艺的弊端,最大限度地发挥了桩体的承载性能,通过试桩的试验结果说明后压浆技术可以有效提高桩体的侧摩阻力和桩端阻力,从而有效地控制桩基沉降量。该技术施工重点是压浆量及压浆压力的合理确定,今后可以继续相关的试验研究,并结合更多的工程实践,使得该技术得以推广应用。

参考文献:

[1] 编委会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
[2] 龙琼, 张刚. 钻孔灌注桩桩端压力注浆施工技术简介[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(4): 49-52.
[3] 周代表. 软土地基超长桩工程性状分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(增): 87-90.
[4] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].
[5] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

(上接第 46 页)

应力波衰减较慢, 曲线平滑, 对深部缺陷识别较好, 对浅部缺陷也有反应。我们一般先用尼龙锤普测, 再用铁锤对不正常的曲线进行复测。如图 6、9 所示曲线, 采用尼龙锤作为激震器, 对浅部缺陷往往采集不到好的曲线, 也就不好进行判断, 容易误判或漏判。检测人员除了必须掌握反射波法的理论知识, 熟悉仪器操作及信号采集技术, 如采用不同的激震材料, 改变采样间隔, 变换激震点和传感器安装位置

(上接第 48 页)

4 结论及建议

- (1) 无论复合地基承载力高与低, 只要桩端持力层仍是软土, 深搅桩就是悬浮桩, 地基压缩变形就大。
- (2) 深搅桩处理只是对软土地基的部分加固, 复合地基根本上还是软土地基。地基基础设计时应以变形控制为主, 承载力作为验算指标, 满足变形和承载力双控要求。
- (3) 工程设计时应根据当地同类场地土, 同类型建筑的长期观测沉降结果, 参照变形计算值确定

等, 还要对反射波法适用性要有充分认识, 了解影响反射波法检测准确性的各种因素, 掌握正确的分析方法, 不断积累工程检测经验, 提高检测水平, 才能为建设工程提供准确可靠的检测结果。

参考文献:

[1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
[2] JGJ/T 135-2001, 复合载体夯扩桩设计规程[S].
[3] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].

最终变形量, 即采用工程类比法设计。预留足够沉降, 保证建筑物正常功能的使用。

(4) 载荷试验承载力不宜直接作为设计依据, 可用于判别地基土的相对强度。沉降计算公式不确定因素较多, 计算值与实际值相差较大。各地区应通过大量的实践, 结合多种试验手段建立起地区性、单元性的软土地基及各类复合地基的承载力和变形沉降经验值, 作为工程设计的可靠依据。

参考文献:

[1] JGJ 79-2002, J220-2002. 建筑地基处理技术规范[S].
[2] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].