

Research on the Integrity of Grouting Pile in Silty Sand Bed by Low Strain Reflection Wave Method

Guangui Ren Zufu Liu

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610031, China

Abstract

The integrity test of a newly built railway bridge rescue channel pile in a silty sand area adopts the low-strain reflection wave method. According to the model complete pile parameters, the statistical reflection wave curve types show obvious no distortion curve, no obvious distortion curve, obvious positive distortion curve and no pile bottom reflection curve, and the speed decreases with the increase of distortion amplitude. The first two are class I and Class II qualified piles, and the last two are excavated and verified as class III and Class IV unqualified piles. The causes of unqualified piles are analyzed, and construction measures are improved to prevent the occurrence of unqualified piles, so that all the grouting piles can reach Class I qualified piles in one construction. The research results can provide reference for railway, highway and other fields to detect the integrity of cast-in piles in silty layer area by reflection wave method.

Keywords

silt; cast-in-place pile; hole collapse; exposed reinforcement; integrity; wave velocity

低应变反射波法检测粉砂层塌孔灌注桩的完整性研究

任光贵 刘祖富

中铁二院工程集团有限责任公司, 中国·四川成都 610031

摘要

某粉砂层地区新建铁路桥梁救援通道灌注桩, 其完整性检测采用低应变反射波法, 并以模型完整桩参数为依据, 统计各反射波曲线类型分别呈明显没有畸变曲线、不明显畸变曲线、明显有正向畸变曲线、无桩底反射曲线, 且各随着畸变幅度的增加而速度降低; 其前两者为 I、II 类合格桩, 后两者开挖验证为 III、IV 类不合格桩, 对不合格桩分析原因, 改进施工措施, 预防不合格桩出现, 使所有灌注桩一次施工均达到 I 类合格桩。本研究成果可为铁路、公路等领域在粉砂层地区反射波法检测灌注桩的完整性提供参考。

关键词

粉砂; 灌注桩; 塌孔; 露筋; 完整; 波速

1 引言

在粉砂层施工的某高速铁路桥梁中的救援通道灌注桩, 设计桩径 1.0~1.5m, 桩长 7~21m, C40 混凝土灌注, 正循环、反循环旋转钻孔法施工。采用低应变反射波法检测桩身完整性, 对反射波曲线有明显正向畸变的桩进行开挖验证为夹泥、露筋、断桩, 分析其原因在粉砂层中施工的混凝土灌注桩, 由于地下水活动, 成孔周围粉砂涌向孔内易塌孔, 灌注混凝土时粉砂塌孔处易扩径, 临近扩径的上方易缩径露筋, 相对应桩中心范围混凝土致密。并以模型完整桩参数为依据, 统计各反射波曲线类型分别呈明显没有畸变曲线、不明显畸变曲线、明显有正向畸变曲线、无桩底反射曲线, 且各随着畸变幅度的增加而速度降低, 其前两者为 I、II 类合

格桩, 后两者开挖验证为 III、IV 类不合格桩, 对不合格桩分析原因改进施工措施, 使所有灌注桩一次施工均达到 I 类合格桩^[1,2]。

2 地质特征及灌注桩施工

该场地地形平坦, 距海岸线约 70km, 属软土地区, 地层深度从桩顶标高算起, 由上而下为 0~3m 粉质黏土为中透土层、3~7m 粉砂为强透土层、7~25m 黏土为弱透土层; 地下水丰富, 桩顶下 3m 见稳定水位; 灌注桩施工采用正循环和反循环旋转钻孔施工, C40 混凝土灌注, 200mm 坍落度, 膨润土护壁^[3-5]。

3 灌注桩完整性判别依据

灌注桩桩身完整性必须满足设计或规范要求。

【作者简介】任光贵(1966-), 男, 中国四川成都人, 本科, 工程师, 从事工程检测研究。

3.1 完整桩波速的确定

3.1.1 模型桩测试

现场配制塌落度 200mm 的 C40 混凝土三根 $2 \times 0.2 \times 0.2\text{m}$ 模型桩, 标养 28d 后, 分别测得反射波速平均值约为 4300m/s。

3.1.2 实地桩测试

现场选取五根龄期 60d 灌注桩的反射波曲线, 其首波、尾波峰值突出, 峰值左右对称, 两峰中部曲线无畸变的 I 类合格桩, 分别测得反射波速平均值为 4300m/s。

3.2 反射波曲线类型及波速

经统计灌注桩 I、II、III 类桩均有桩底反射, IV 类桩无桩底反射; 反射波曲线明显没有畸变, 波速 4300~4106m/s 为 I 类合格桩, 反射波曲线有不明显畸变, 波速 4106~3913m/s 为 II 类合格桩, 反射波曲线有明显正向畸变, 波速低于 3913m/s, 且桩中心范围混凝土致密为 III 类不合格桩, 反射波曲线无桩底反射, 桩中心范围夹泥呈断桩为 IV 类不合格桩。

4 粉砂层灌注桩的完整性检测

粉砂层中施工灌注桩, 由于粉砂层含水, 施工时打破了地下水的平衡, 形成大的水压差, 成孔周围粉砂涌向孔内易塌孔, 灌注混凝土时粉砂塌孔处易扩径, 临近扩径的上方易缩径露筋, 相对应桩中心周围混凝土较致密^[6,7]。

4.1 完整桩的反射波检测

4.1.1 选取 7-1 桩的反射波曲线分析

设计桩长 9m, 桩径 1.5m, 正循环施工, 曲线首波、尾波峰值突出, 峰值左右对称, 两峰中间曲线明显无畸变, 波速 4300m/s, 判 I 类合格桩, 如图 1 所示。

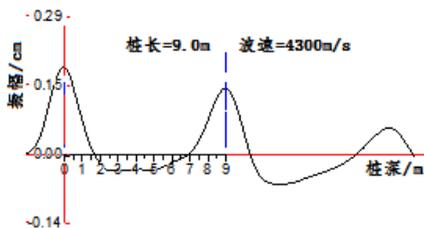


图 1 7-1 桩反射波曲线图

4.1.2 选取 5-1 桩的反射波曲线分析

其设计桩长 18m, 桩径 1.5m, 正循环施工, 曲线首波峰值突出且左右对称, 桩深 9.5~12.5m 地层为粉砂, 由粉砂塌孔使桩深 12.5m 处扩径导致桩深 15m 处缩径回复至正常桩径, 波速 4300m/s, 判 I 类合格桩, 如图 2 所示。

4.2 轻微缺陷桩的反射波检测

选取 270-3 桩的反射波曲线分析: 设计桩长 11m, 桩径 1.5m, 正循环施工, 反射波曲线有不明显畸变, 其首波不对称, 左侧斜率大右侧斜率小, 反射波波速为 4063m/s, 仅为完整桩速度的 94.5%, 分析桩浅部存在轻微缺陷, 判 II 类合格桩, 如图 3 所示。

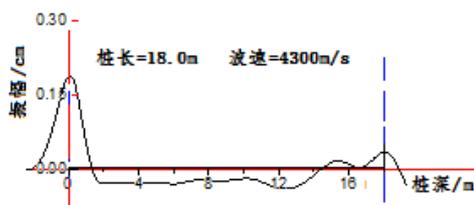


图 2 5-1 桩反射波曲线图

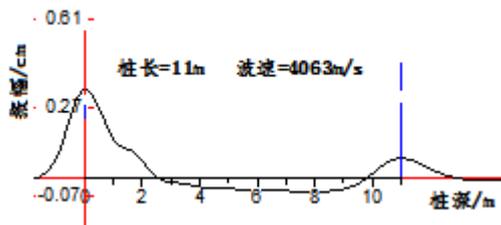
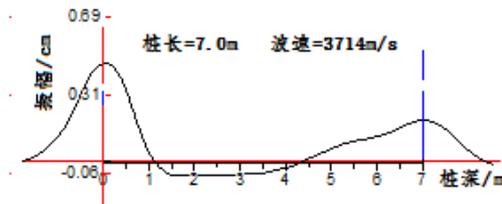


图 3 270-3 桩反射波曲线图

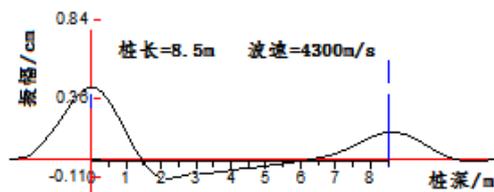
4.3 明显缺陷桩的反射波检测

4.3.1 桩底沉渣桩

选取 71-3 桩的反射波曲线分析: 设计桩长 7m, 桩径 1.0m, 正循环施工, 其反射波曲线首波对称、尾波不对称左侧斜率小、右侧斜率大, 反射波波速仅为 3714m/s, 仅为完整桩波速的 86.4%, 而桩端曲线左右不对称, 其左侧曲线平缓反应为沉渣, 经计算桩底沉渣厚度 1m, 存在明显缺陷, 判 III 类不合格桩, 如图 4 (a) 所示。后进行原位冲孔重新施工, 重新施工桩长 8.5m, 桩径 1.0m, 反射波速为 4300m/s, 曲线首波、尾波峰值突出, 峰值左右对称, 两峰中部无正向缺陷信号, 判 I 类合格桩, 如按设计桩长 7m 设置, 波速为 3556m/s, 在确定桩长情况下也判 I 类合格桩, 如图 4 (b) 所示。



(a) 71-3 桩底部沉渣反射波曲线图



(b) 71-3 桩重新施工反射波曲线图

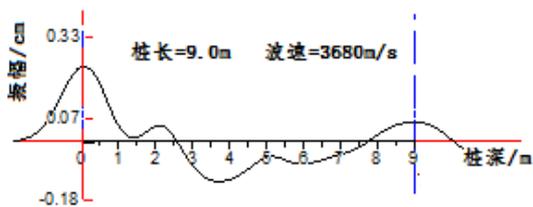
图 4 71-3 桩反射波曲线图

4.3.2 露筋桩

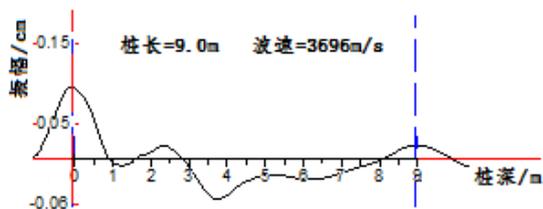
选取 78Y-2 桩顶左侧反射波曲线分析: 设计桩长 9m, 桩径 1.5m, 反循环施工, 反射波曲线 2.4m 处存在明显正向

缺陷,波速为 3680m/s,仅为完整桩速度的 85.5%,用波速 4300m/s 计算曲线明显正向缺陷的桩深 2.8m,对应地层为粉砂层,分析桩深 2.8m 露筋,桩深 3.1m 下扩径较大,判 III 类不合格桩,如图 5(a)所示。

选取 78Y-2 桩顶右侧反射波曲线分析:设计桩长 9m,桩径 1.5m,反射波曲线 2.8m 处存在明显正向缺陷,波速为 3696m/s,仅为完整桩速度的 85.9%,用波速 4300m/s 计算曲线正向缺陷的桩深 3.2m,对应地层为粉砂层,分析桩深 3.2m 露筋,桩深 3.5m 下扩径相对较小,同样判 III 类不合格桩,如图 5(b)所示。



(a) 78Y-2 桩左侧露筋反射波曲线图



(b) 78Y-2 桩右侧露筋反射波曲线图

图 5 78Y-2 桩反射波曲线图

分析桩深对应其深度桩周粉砂含水量大,施工时形成水压差,导致桩深 3.1m 以下扩径,桩深 2.8~3.2m 缩径露筋,并开挖验证桩深两个侧面分别在 2.8m、3.0m 露筋,后进行了原位冲孔重新施工。

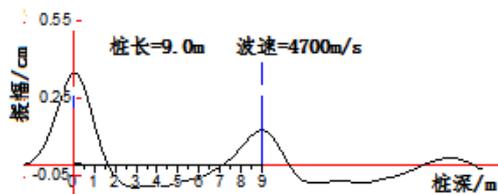
同理另一灌注桩 26-3,其桩直径 1m,桩长 15m,波速 3532m/s,仅为完整桩速度的 82%,反射波法检测桩深 2.5m 处为明显缺陷顶面,先开挖桩深 2.5m,截 2.5m 后再继续下挖 1.5m 桩周露筋,桩周夹泥露筋深度达 2×0.2m,桩混凝土直径仅有 0.6m,桩顶中心范围混凝土致密;后进行了原位冲孔重新施工。

4.4 严重缺陷桩的反射波检测

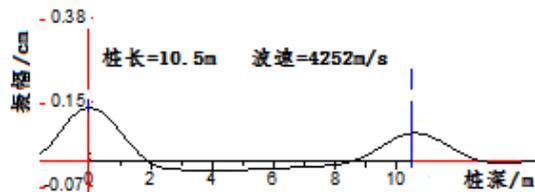
4.4.1 桩长不够

选取 71Z-2 桩反射波曲线分析:设计桩长 9m,桩径 1.5m,反循环施工,反射波曲线无畸变,波速 4700m/s,高于完整桩波速,采用波速 4300m/s 计算桩长 8.2m,判 IV 类不合格桩。实地调查施工时没有清底,引起桩长不够,如图 6(a)所示,后进行原位冲孔重新施工。重新施工桩长 10.5m,桩径 1.5m,曲线首波、尾波峰值突出,峰值左右对称,两峰中部曲线无正向缺陷信号,波速 4252m/s,判 I 类合格桩,如图 6(b)所示;如按设计桩长 9m 设置,其波速为 3624m/s,在确定

桩长情况下也判 I 类合格桩。



(a) 71Z-2 桩长不够反射波曲线图



(b) 71Z-2 重新施工反射波曲线图

图 6 71Z-2 桩反射波曲线图

另选取 72-5 桩反射波曲线分析:设计桩长 12.5m,桩径 1.5m,反循环施工,反射波曲线无畸变,波速 5077m/s,高于完整桩波速,采用波速 4300m/s 计算桩长 10.5m,判 IV 类不合格桩。实地调查施工时测量孔深的测绳米数标记误把 10.5m 看成 12.5m,引起桩长不够,如图 7 所示,后进行原位冲孔重新施工。

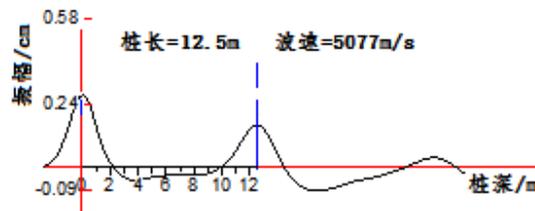
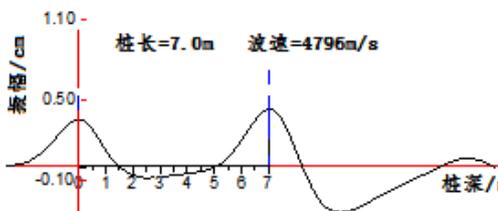


图 7 72-5 桩反射波曲线图

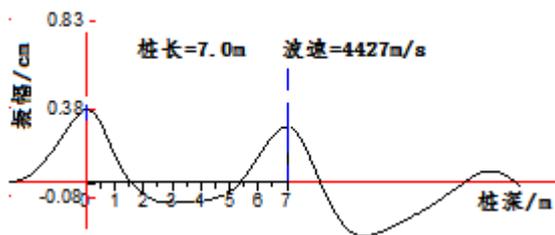
4.4.2 塌孔桩

选取 78Y-3 桩顶左侧反射波曲线分析:设计桩长 7m,桩径 1.0m,反循环施工,反射波曲线无畸变,波速 4796m/s,高于完整桩速度,采用波速 4300m/s 计算桩长 6.2m,判 IV 类不合格桩,如图 8(a)所示。

选取 78Y-3 桩顶右侧反射波曲线分析:设计桩长 7m,桩径 1.0m,反射波曲线无畸变,波速为 4427m/s,高于完整桩速度,用波速 4300m/s 计算桩长 6.8m,判 IV 类不合格桩,如图 8(b)所示。



(a) 78Y-3 桩顶左侧反射波曲线图



(b) 78Y-3 桩顶右侧反射波曲线图

图 8 78Y-3 桩反射波曲线图

上述检测桩深一侧 6.8m、一侧 6.2m，曲线首波、尾波峰值突出，峰值左右对称，两峰中部曲线无正向缺陷信号，分析因桩上部粉砂层塌孔引起，塌孔的方向是从桩深 6.2m 一侧而塌，坍塌厚度 0.8~0.2m，由此判 IV 类不合格桩，后进行了原位冲孔重新施工。

4.4.3 断桩

选取 87-5 桩反射波曲线分析：设计桩长 7m，桩径 1.0m，反循环施工，反射波曲线反应桩深 3.0m 处呈多次反射无桩底，判 IV 类不合格桩。据调查原施工时把旁边的泥浆池给打通了。后进行了原位冲孔重新施工，如图 9 所示。

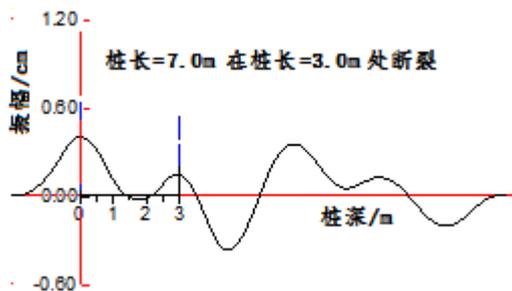


图 9 87-5 断桩反射波曲线图

5 改进措施

上述缺陷桩的形成其实是护壁质量差，要高度重视，采用高质量合格膨润土护壁及护壁厚度均匀且改用正循环法施工、混凝土灌注要连续，以及泥浆池旁施工要采用双笼灌注法施工。

6 结论

在粉砂层施工的 C40 混凝土灌注桩，由于粉砂层中地下水压力大，成孔周围粉砂涌向孔内易塌孔，灌注混凝土时粉砂塌孔处宜扩径，临近扩径的上方易缩径露筋，采用反射波法对其完整性检测，以设计桩长为依据，完整桩波速为基础，根据反射波曲线形态综合判别桩的完整性，分析缺陷桩的形成原因并改进施工预防措施，使所有灌注桩一次施工均达 I 类合格桩，其完整性检测总结如下：

①完整桩反射波曲线明显没有畸变，对应桩顶、桩端幅值对称、轻微缺陷桩、明显缺陷桩、严重缺陷桩随着缺陷程度加大，其各反射波曲线畸变加大和波速随着降低。

② I 类完整桩波速变化 4300~4106m/s、II 类轻微缺陷桩波速变化 4106~3913m/s、III 类明显缺陷桩波速变化低于 3913m/s、IV 类严重缺陷桩无桩底反射；I 类、II 类为合格桩，III 类、IV 类为不合格桩。

③反射波曲线无畸变，波速略低，在确定是施工超桩长原因的情况下，也判 I 类合格桩。

④桩施工时对应的地下水位和具有承压含水砂层处易扩径，扩径上方易缩径露筋。

⑤粉砂层施工的混凝土灌注桩，防止缩径露筋，首先预防扩径，须采用正循环法施工，取高质量合格膨润土护壁、双笼灌注法施工。

⑥本研究成果可为铁路、公路等领域在粉砂层地区采用低应变反射波法检测灌注桩桩身完整性提供参考。

参考文献

- [1] TB 10218—2019 铁路工程基桩检测技术规程[S].
- [2] TB 10013—2023 铁路工程物理勘探规范[S].
- [3] TB 10106—2023 铁路工程地基处理技术规程[S].
- [4] JGJ 340—2015 建筑地基检测技术规范[S].
- [5] Q/CR 9212—2015 铁路桥梁钻孔桩施工技术规程[S].
- [6] 胡晓军,何玉先.浅析螺杆桩在铁路路基工程施工中的应用[J].高速铁路技术,2020,8(4):97-100.
- [7] 常聚友,任光贵,常超,等.反射波法检测超长灌注桩的完整性研究[J].铁道工程学报,2020,263(8):24-28.