

# 双桩一承台结构桩基低应变法检测应用研究

赵露

(湖南联智桥隧技术有限公司, 湖南 长沙 410200)

**摘要:** 低应变法在桩基检测中运用较广泛,但其不能有效检测具有承台桩基的缺陷。文中对某双桩一承台结构为研究对象,分析低应变下不同检测点位置对动力刚度检测结果的影响,同时根据双桩一承台的特点改进低应变检测法,通过钻孔直接将检测传感器安装在被测桩基的顶面进行低应变检测。结果表明,检测点位置会影响桩基动力刚度检测结果,激振点位于桩基中心承台上时动力刚度最小,偏离桩基中心位置越远动力刚度越大;采用改进型低应变法能更准确地判断桩身完整性和长度。

**关键词:** 桥梁;双桩一承台结构;低应变检测;动力刚度

中图分类号:U446.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0160-04

低应变检测法以其快速、简单、经济等优势在土木工程界得到广泛运用,但该检测方法建立在单桩动力检测上,受墩台、桥梁面板等因素影响无法实现非单桩动力检测,直接采用低应变法检测具有承台等结构的桩基不能准确确定桩基长度和缺陷。已有研究成果主要集中在直接接触检测单桩上,对非直接接触的低应变检测研究较少。如周乃明等基于动刚度法进行既有承台一桩基检测研究,通过现场试验和有限元模型试验分析了影响承台一桩基动刚度的因素,提出采用机械阻抗法检测承台一桩基。低应变法检测非直接接触桩基易造成检测讯号埋设在桩基上部,从而影响桩基检测准确度。因此,需对低应变法进行改进。该文基于某双桩一承台结构桩基工程,采用低应变检测法分析动力刚度受检测点位置影响的程度,同时对低应变法进行改进,以减少承台对低应变检测效果的影响。

## 1 基桩反射波检测原理及判断标准

低应变反射波法是一种依靠一维弹性波动理论检测桩身完整性和长度的无损检测方法。其基本原理:在桩顶竖向部位激振赋予桩身能量,该能量转为波沿桩身下部传播,遇到桩身不连续界面(如蜂窝、断裂等)时产生波阻形成反射波,反射信号通过桩顶传感器拾取,经放大、滤波、数据处理,得到弹性波在桩身各部位的传播速度,通过比较反射波的接收时间、波形特征等判断桩身的完整性。

假设桩长度为  $L$  的一维线弹性杆, $c$  为弹性波速( $c^2=E/\rho$ ),广义波阻抗  $Z=A\rho c$ (其中  $E$  为弹性

模量, $A$  为桩横截面面积, $\rho$  为质量密度),推导桩的一维波动方程为:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{R}{\rho A}$$

当应力波通过某处有缺陷的桩基时,其阻抗发生变化,将产生速度反射波  $v_r$  及速度透射波  $v_t$ 。令桩身质量完好系数  $\beta = z_2/z_1$ ,则:

$$v_r = v_i \frac{1-\beta}{1+\beta}; v_t = v_i \frac{2}{1+\beta}$$

桩身的缺陷程度可依据缺陷反射幅值定性确定,缺陷位置  $L_x$  可由  $L_x = ct_x/2$  确定。

桩基检测设备采用 PIT-V 桩完整性测试仪,检测设备及现场连接见图 1。四类桩的低应变判别标准见表 1。

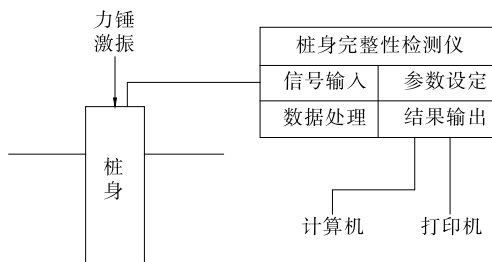


图 1 基桩反射波法检测仪器设备现场连接示意图

## 2 某双桩一承台结构桩基检测分析

### 2.1 工程概况

某双桩一承台结构(见图 2)中 2 根桩的桩身为均匀圆柱,桩身尺寸相同,桩长 11.6 m,嵌固于承台中 0.1 m,桩径 0.6 m。承台为长方形,长 3 m,宽 1.2 m。

表 1 低应变法下桩类别判断标准

桩类型	判断标准
I	$t \leq 2L/c$ 时无缺陷反射波,但有桩底反射波;桩底谐振峰等间距排列,谐振峰频差 $\Delta f \approx c/(2L)$
II	$t \leq 2L/c$ 时有轻微缺陷反射波及桩底反射波;桩底谐振峰基本等间距排列,谐振峰频差 $\Delta f \approx c/(2L)$ ;轻微缺陷反射波与桩底反射波产生的谐振峰间频差 $\Delta f' > c/(2L)$
III	缺陷反射波明显,其他特征现象在 II、IV 之间
IV	$t \leq 2L/c$ 时缺陷反射波严重,无桩底反射波;缺陷反射波谐振峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f' > c/(2L)$ ;桩身较浅部位出现单一谐振峰,不存在桩底谐振峰

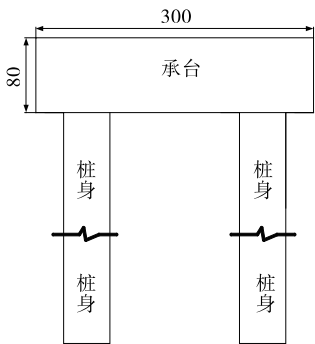


图 2 某双桩一承台结构(单位:cm)

2 根桩的中心距离承台短边 0.6 m,距离承台长边 0.6 m。桩和承台采用 C30 砼,泊松比为 0.2,密度为 2 420 kg/m<sup>3</sup>。力的作用位置均取在桩的中心点,测点取在距离力作用点 0.15 m 处(见图 3)。桩周土均为细砂。

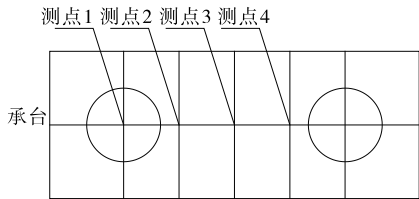


图 3 双桩一承台测点布置

2.2 低应变法振源特性及测点位置对检测结果的影响

2.2.1 动刚度计算流程及公式

采用低应变法获得时间—速度曲线,对时间—速度、荷载曲线进行傅里叶转换获得桩的导纳曲线,分析导纳曲线低频段,对近似直线段拟合获得拟合斜率,代入下式即可求得动刚度。

$$K_d = \frac{2\pi f_M}{|V/F|_M}$$

式中:  $K_d$  为动刚度;  $f_M$  为低频曲线中某点的斜率;  $|V/F|_M$  为低频曲线导纳值。

2.2.2 振源特性对桩基检测结果的影响

低应变法检测中各环节均对检测结果有一定影响,其中振源对桩基检测的影响最大,主要表现在: 1) 采用手锤垂直击桩效果最佳; 2) 振源与传感器存在一定的相关关系,桩身缺陷程度的准确把握受振源影响大; 3) 不同材质的手锤头与脉冲时间存在一定关系,大体上是小锤敲小桩、大锤敲大桩,轻锤敲小桩、重锤敲大桩。

2.2.3 测点位置对桩一承台结构动刚度的影响

参考文献[3],采用低应变法进行该双桩一承台结构桩基激振测试,将其中一个桩中心激振作为作用点,测点布置见图 3,根据激振测点的波形按文献[3]计算得到各测点的动刚度(见表 2)。桩身动刚度与测点作用距离的关系见图 4。

表 2 各测点的动刚度

测点	测点离作用点的距离/m	桩身动刚度/ [ $\times 10^8 (\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$ ]
测点 1	0.0	9.22
测点 2	0.6	15.32
测点 3	1.2	28.50
测点 4	1.8	25.30

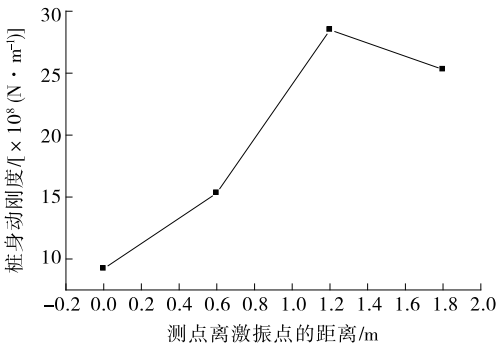


图 4 桩身动刚度随测点作用距离的变化关系

由图 4 可知:桩身刚度随测点与激振点距离的

增大呈现先增大后减少的趋势,当测点距离激振点1.2 m时,桩身刚度最大。可见,在具有承台的桩基上测试桩的动刚度难以获得准确值,而动刚度与静刚度存在一定关系,根据动刚度可间接获得桩基的承载力。

2.3 改进型低应变检测法

低应变检测桩基依靠安装在桩基上的传感器,通过传感器收集激振获得的反射波形反映桩基的情况,而在承台上进行低应变检测只能捕捉部分反射波,需对低应变法进行改进。为了让传感器尽可能贴近桩基,通过钻孔,直接将传感器放置在桩基顶面,从而直接捕捉桩基反射波。尽管该方法对承台会产生一定破坏,但比在承台上测试更准确。改进型低应变检测法传感器及激振设备安装见图5,检测步骤为承台顶部钻孔(钻孔直径略大于传感器长度,钻孔深度为接近桩顶位置)→整平钻孔孔底并预埋铁板→传感器吸附于铁板→在承台上激振→采集反射波信号。

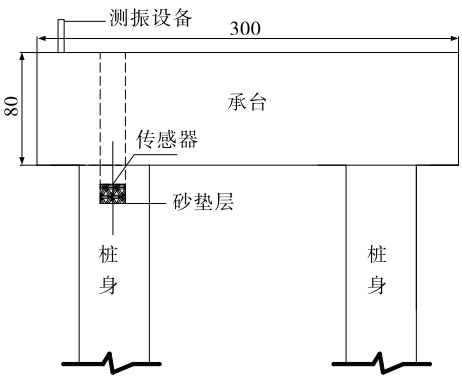


图5 改进型低应变检测法传感器及激振设备安装示意图(单位:cm)

2.4 检测结果分析

共检测52根桩,即16个双桩—承台结构。同时采用低应变法和改进型低应变法进行检测,设定波速 $c$ 均为3 800 m/s。限于篇幅,仅列出部分桩基的两种检测法的检测结果(见表3)。图6为低应变反射图形。

表3 改进型低应变法与原低应变法检测结果对比

桩号	竣工桩长/m	测试桩长/m		桩身结构完整性描述		桩类别判定	
		改进方法	原方法	改进方法	原方法	改进方法	原方法
1	15.40	15.37	14.58	完整	完整	I	I
2	15.42	15.35	14.56	完整	完整	I	I
3	15.23	15.12	11.21	11.68 m左右存在轻微缺陷	完整	II	I
4	15.12	15.10	14.78	完整	完整	I	I
5	15.13	15.10	14.65	11.5 m左右存在轻微缺陷	完整	II	I
6	15.15	15.10	14.52	浅部(2 m范围内)存在轻微缺陷	浅部(2 m范围内)存在轻微缺陷	II	II
7	13.45	13.34	12.78	完整	完整	I	I
8	13.42	13.45	12.63	完整	完整	I	I
9	12.55	12.60	12.38	完整	完整	I	I
10	12.60	12.65	11.79	完整	完整	I	I
11	12.75	12.78	11.98	完整	完整	I	I
12	12.77	12.65	12.10	完整	完整	I	I
13	12.78	12.78	12.23	浅部(2 m范围内)存在轻微缺陷	浅部(2 m范围内)存在轻微缺陷	II	II
14	12.67	12.65	12.02	12.65 m左右存在轻微缺陷	完整	II	I
15	12.75	12.78	12.18	12.78 m左右存在轻微缺陷	完整	II	I
16	12.68	12.65	12.01	完整	完整	I	I
17	12.73	12.78	11.88	10 m左右存在轻微缺陷	完整	II	I
18	12.75	12.65	12.01	完整	完整	I	I
19	12.81	12.78	12.13	完整	完整	I	I

续表 3

桩号	竣工桩长/m	测试桩长/m		桩身结构完整性描述		桩类别判定	
		改进方法	原方法	改进方法	原方法	改进方法	原方法
20	12.75	12.65	12.05	完整	完整	I	I
21	12.66	12.65	12.45	完整	完整	I	I
21	12.55	12.50	11.78	完整	完整	I	I
22	12.65	12.50	12.12	12.5 m 左右存在轻微缺陷	完整	II	I
23	12.58	12.55	12.06	完整	完整	I	I
24	12.59	12.40	12.01	完整	完整	I	I
25	12.58	12.55	12.10	3 m 左右存在轻微缺陷	3 m 左右存在轻微缺陷	II	II
26	12.60	12.50	12.21	完整	完整	I	I

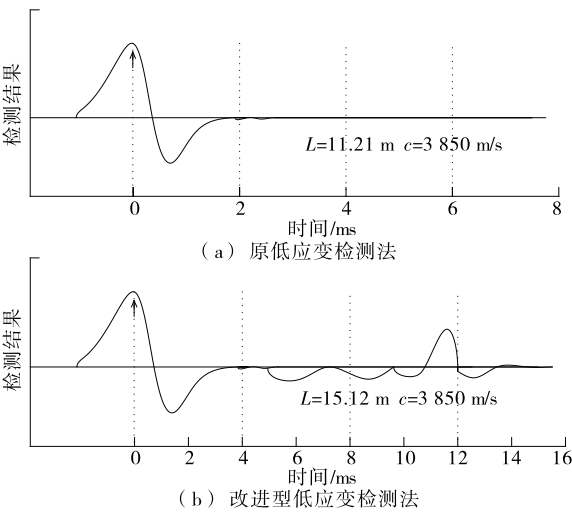


图 6 竣工桩长  $L$  为 15.23 m 桩基的低应变反射波

由表 3、图 6 可知:相比原低应变测试法测试的桩长,改进方法测试的桩长更接近竣工桩长;竣工桩长 15.23 m 桩的检测桩长,改进方法与原低应变测试法相差 3.91 m,对应桩类别分别为 II、I。其原因是改进型低应变测试法下的反射波穿透桩基更深,而原低应变测试法受到承台的制约,部分能量未能穿透桩基底部,导致桩长测试长度小于改进方法。一旦测试缺陷大于测试范围后,缺陷不能被检测出,将造成桩类别误判,如 II 类桩误判为 I 类桩。

3 结论

(1) 桩身刚度随检测点与激振点距离的增大呈现先增大后减少的趋势,当检测点距离激振点 1.2 m 时,桩身刚度最大。可见,在具有承台的桩基上测试桩的动刚度难以获得准确值。

(2) 采用改进型低应变检测法剔除承台对振动能量的影响,测试结果比通过承台安置传感器激振获得的桩长更准确。

参考文献:

[1] 张明启.基桩反射波法测试技术的应用研究[D].天津:天津大学,2006.  
[2] 雷贤庆.影响基桩完整性检测准确性的相关因素分析[J].工程质量,2001(9).  
[3] 周乃明.动刚度法在既有承台一桩基检测中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2015.  
[4] 韩玉春.桩基检测技术在高层建筑工程中的应用[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.  
[5] 张维维.动刚度在基桩动测中的应用[D].武汉:华中科技大学,2009.

收稿日期:2017-11-30

(上接第 159 页)

研究[D].成都:西南交通大学,2011.  
[10] SL352-2006,水工混凝土试验规程[S].  
[11] GB/T 50082-2009,普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法[S].  
[12] 孙江云,金宝宏,侯玉飞.矿物掺合料对高性能混凝土塑性收缩裂缝的影响[J].桂林理工大学学报,2016,

36(2).  
[13] 张戎令,王起才,马丽娜.复配外加剂体系对高性能混凝土收缩性能的影响[J].硅酸盐通报,2013,32(11).  
[14] 罗俊礼,徐志胜,熊伟.再生骨料高性能混凝土收缩徐变对比试验研究[J].工业建筑,2014,44(1).

收稿日期:2017-03-09