

文章编号:1000-582X(2005)04-0095-04

## 浅层严重缺陷桩的识别\*

杜思义<sup>1,2</sup>,王玉东<sup>3</sup>,张少杰<sup>4</sup>

(1. 重庆大学资源及环境工程学院,重庆 400030;2. 郑州大学土木工程学院,郑州 450002;  
3. 河南省交通厅公路工程局,郑州 450052;4. 河南工业大学基建处,郑州 450007)

**摘要:**总结出基桩结构完整性检测中经常遇到的两种浅层严重缺陷桩信号的特征,提出了浅层严重缺陷桩的力学模型,以及判断浅层严重缺陷桩缺陷位置和程度的方法。对于波浪型的低频振荡信号用单自由度振动理论判断桩身结构完整性,对多阶高频大幅值振荡信号要分别用振动理论和波动理论判断基桩的缺陷性质和缺陷位置。实例证明了所提出的方法的正确性,该方法具有较强的工程实用性。

**关键词:**基桩;完整性;缺陷;识别

**中图分类号:**TU413.4

**文献标识码:**A

建筑物的桩基础属隐蔽工程,其基桩结构完整性的检测非常重要。目前,在基桩结构完整性测试的低应变方法中,应力波反射法以其简便、快捷、可靠性高的优势被广泛应用。一般情况下,从应力波反射法所测得信号中很容易识别出基桩的结构完整性,如判别桩的长度、桩身结构缺陷(包括缩径、扩径、离析、断桩等)以及缺陷的位置和相对程度等。但有些情况也不容易识别,如桩身浅部存在严重缺陷时,仅仅利用应力波反射理论无法圆满解释和判断所测桩的结构完整性。例如图1、图2所示的是低应变测试中常见的两种速度响应信号,图中 $V$ 表示速度, $L$ 表示长度。

结果应是桩身阻抗在约1.3 m或4 m处应有大的变化,开挖结果并非如此,而实际该桩在0.5 m处有一明显裂缝。

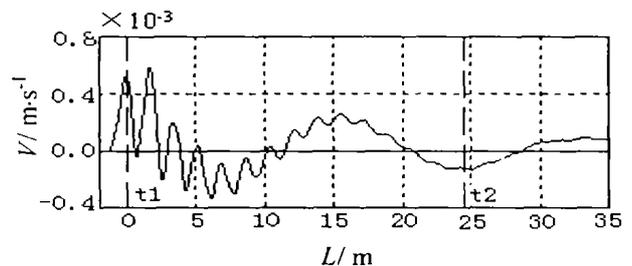


图2 某砼灌注桩低应变实测信号

图2为多阶高频大幅值振荡信号,信号波峰和波谷都比较尖锐。用应力波反射法分析该桩信号,判定该桩约在2 m或15 m处应有大的缺陷,而开挖结果并非如此,该桩实际是在1.0 m处断裂。根据开挖验证结果判断,以上两桩均是浅层存在严重缺陷的桩,仔细观察这两个信号,两信号的速度幅值( $V$ )不同于应力波理论定义的 $V = F/Z$ ,而是大于 $F/Z$ ,其中 $F$ 为输入激励, $Z$ 为桩身阻抗。

在桩基工程测试中,以上两类由应力波反射法测

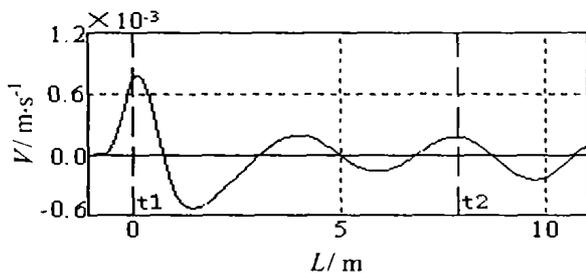


图1 某高压旋喷桩低应变实测信号

图1为波浪型的低频振荡信号,信号中波峰、波谷都较为平缓和平滑。如用应力波反射法判断该桩信号,

\* 收稿日期:2004-11-01

基金项目:河南省自然科学基金项目(0411052900)

作者简介:杜思义(1969-),男,河南淮阳人,重庆大学博士研究生,工程师,主要从事工程结构的检测与研究。



桩体较短,不能形成波动。

该模型为单自由度体系,测试时手锤对桩顶的冲击力近似于半正弦激励,其脉冲函数  $f(t)$  可表示为<sup>[2-3]</sup>

$$f(t) = \begin{cases} F \sin \frac{\pi t}{a} & 0 \leq t \leq a \\ 0 & t > a \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $\tau$  为冲击力作用终止时刻,  $t$  为时间,  $F$  为激励幅值。

则系统控制方程为

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + c \frac{du}{dt} + ku = f(t) \quad (6)$$

初始条件为  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  (7)

由 Duhamel 积分公式得

$$u(t) = \begin{cases} \frac{F}{mq_0} \int_0^t \sin\left(\frac{\pi\tau}{a}\right) e^{-\xi p(t-\tau)} \sin(q(t-\tau)) d\tau & (0 \leq t \leq a) \\ \frac{F}{mq_0} \int_0^a \sin\left(\frac{\pi\tau}{a}\right) e^{-\xi p(t-\tau)} \sin(q(t-\tau)) d\tau & (t > \tau) \end{cases} \quad (8)$$

(8) 式积分结果为系统位移响应,位移响应对时间  $t$  求导可得系统的速度响应如下

$$\dot{u}_1 = Fa \left\{ \begin{aligned} & \left[ \frac{2pq a \xi \pi^2 \sin \frac{\pi t}{a} - q\pi(a^2 p^2 \xi^2 + q^2 a^2 - \pi^2) \cdot \right. \\ & \left. \cos \frac{\pi t}{a} - e^{-\xi p t} \left[ \frac{q\pi(a^2 p^2 \xi^2 + q^2 a^2 - \pi^2) \cos(qt) + \right. \right. \\ & \left. \left. \xi p(a^2 p^2 \xi^2 + q^2 a^2 + \pi^2) \sin(qt) \right] \right] \end{aligned} \right\} \\ /mq[(a^2 p^2 \xi^2 + q^2 a^2 + \pi^2) - 4q^2 a^2 \pi^2] (0 \leq t \leq a) \\ \dot{u}_2 = \left\{ \begin{aligned} & e^{\xi p(a-t)} \left[ \frac{(pq^2 a^2 \xi - p^3 a \xi^3 - p \xi \pi^2) \sin(q(a-t)) + \right. \\ & \left. (p^2 q a^2 \xi^2 + q^3 a^2 - q\pi^2) \cos(q(a-t)) \right] + \\ & e^{-\xi p t} \left[ \frac{(p^2 q a^2 \xi^2 + q^3 a^2 - q\pi^2) \cos(qt) + \right. \\ & \left. (pq^2 a^2 \xi + p^3 a^2 \xi^3 + p \xi \pi^2) \sin(qt) \right] \end{aligned} \right\} \\ /mq[(a^2 p^2 \xi^2 + q^2 a^2 + \pi^2) - 4q^2 a^2 \pi^2] (a \leq t) \quad (9)$$

式中:  $p$  为缺陷以上桩体的固有频率,  $q = p \sqrt{1 - \xi^2}$  为缺陷桩在有阻尼振动时的固有频率, 阻尼比  $\xi = c/2m\omega_0$ 。

从速度响应的表达式可以看出,速度响应时程曲线是振幅呈指数衰减、低频震荡的简谐曲线,如图 4 所示<sup>[4]</sup>。

图 4 与实测信号图 1 的波形非常相似,验证了图 1 信号产生的机理。而且信号振荡频率随缺陷程度的增

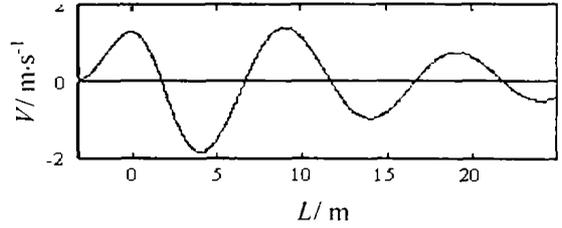


图 4 浅层缺陷桩的计算曲线

大和缺陷位置的加深而减少;在同样的缺陷程度下,缺陷位置越浅,  $u_i$  幅值越大<sup>[2]</sup>。

该类型浅层断桩的深度可根据所测信号的振动频率或周期判断<sup>[5]</sup>,缺陷以上桩体的质量  $m = \rho AL$ ,刚度  $K = EA/L$ ,而桩体的固有频率  $\omega$  测试时已得出,由公式  $\omega = \sqrt{K/M}$  可以得出缺陷深度  $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{E/\rho}$ 。

式中:  $L$  为缺陷位置距桩顶的距离;  $\omega$  为桩体的固有频率;  $A$  为截面面积;  $\rho$  为桩身密度;  $E$  为桩身弹性模量。

由上式可以计算出图 1 缺陷深度为 0.48 m,图 2 缺陷深度为 1.03 m,基本与开挖结果相符。

#### 4 振动和波动理论在识别浅层严重缺陷桩中的综合应用

浅层严重缺陷桩作为刚体振动时速度响应表现为单一的大低频高幅值信号,作为应力波载体时速度响应表现高频反复振荡信号,当浅层断桩的深度相对较深,并且锤击脉冲又不太宽时,在桩体发生振动的同时,也会有应力波在桩体内来回反射,产生高频响应信号,这种高频响应与振动产生的低频响应信号叠加在一起,形成图 2 所示的波形<sup>[6]</sup>。

类似图 2 所示的波形,只能根据振动理论而不能根据波动理论标准判断基桩的缺陷性质,但可以用波动理论公式  $L = C \cdot T/2$  及信号中的第一个反射峰确定缺陷位置,其中  $L$  为缺陷深度或桩长、 $C$  为应力波波速、 $T$  为应力波传播的时间。用公式  $L = C \cdot T/2$  计算出图 2 缺陷深度为 1.05 m,接近开挖的实际结果。

#### 5 结 论

总结多次低应变测试验证结果,结合以上的理论推导分析,可以得出以下结论:1) 类似图 1、2 中给出的两类基桩的低应变测试信号均可判定为浅层严重缺陷桩,或称为“浅层断桩”。2) 对浅层断桩不能单独应用波动理论识别,类似图 1 的信号,只能用振动理论判定基桩

的缺陷性质和位置,类似图 2 的信号,必须将波动理论和振动理论结合应用,用振动理论识别基桩缺陷性质,而用波动理论识别缺陷位置。3) 浅层断桩中的波动特性随着敲击脉冲波长相对缺陷深度的增加而逐渐减弱。4) 浅层缺陷的存在严重影响基桩承载力传递,准确识别及时处理可以避免由其造成的经济损失。

#### 参考文献:

- [1] 王靖涛. 桩基应力波检测理论及工程应用[M]. 北京:地震出版社,1999. 85 - 86.  
[2] 王雪峰,吴世明. 基桩动测技术[M]. 北京:科学出版社,

2001. 25 - 26.

- [3] 方同,薛璞. 振动理论及应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,2000. 75 - 93.  
[4] VINAY K, INGLE, JOHN G PROAKIS. Digital Singal Processing Using MATLAB[M]. South Natick, MA: Brooks/Cole Press,2001.  
[5] 杜思义,赵楠. 基桩低应变完整性测试的探讨[A]. 刘长岭. 建筑工程检测技术论文集[C]. 北京:冶金工业出版社,1999. 103 - 108.  
[6] 卢伟倬,陆培毅. 浅部严重缺陷桩的阻尼波动方程与波形特征[J]. 福建建筑,2002,(4):25 - 27.

## Identification of the Serious Damage in Superficial Part on Piles

DU Si-yi<sup>1,2</sup>, WANG Yu-dong<sup>3</sup>, ZHANG Shao-jie<sup>4</sup>

- (1. College of Resource and Environment, Chongqing University, Chongqing 400030, China;  
2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;  
3. Communication Administrative Bureau in Henan Province, Zhengzhou 450052, China;  
4. Capital Construction Department, Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** Two kinds of singular signal's characteristics of upper-part serious damage piles encountered in the examination of structural integrity of piles are presented. Based on vibration and wave theories, the principle of identifying the existence of the upper-part serious damage piles and the method of identifying the damaged positions and severity of piles are worked out. The structure integrity of a pile including damage type and position should be identified by vibration theory of single severity of freedom from its oscillating signs of low frequency, and the damage type and position should be respectively detected by vibration theory and wave theory from the oscillating signs of high frequency. The method is of great practicability in engineering field.

**Key words:** pile; integrity; damage; identify

(编辑 张小强)