

复合载体夯扩桩低应变完整性检测的讨论

杨启安

林成杉 赵玉林

(北京波森特岩土工程有限公司 102218) (宣华钢铁集团有限责任公司 075103)

[摘要] 通过应力波的反射原理,结合复合载体夯扩桩的设计和施工,分析了工程中复合载体夯扩桩的低应变反射曲线的特征,并根据反射曲线提出对缺陷桩的处理方法。

[关键词] 复合载体夯扩桩 分析 低应变检测 曲线 缺陷

Discussion on the Low Strain Dynamic Testing of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base/Yang Qi'an¹, Lin Chengshan², Zhao Yulin²(1 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China; 2 Xuanhua Iron & Steel Group Co., Ltd., Xuanhua 075103, China)

Abstract: Based on the design and construction of the ram-compaction piles with composite bearing base, the low strain dynamic test curve of the piles is analyzed with the application of the mechanism of the reflection of the strain wave, and also the treatment methods for the defect piles are supplied.

Keywords: ram-compaction piles; composite bearing base; analyze; low strain dynamic test; curve; defect

复合载体夯扩桩是一种由混凝土桩身与载体组成的基础,若采用常规桩基的检测方法对其进行判断,必将出现误判而影响其使用,下面根据多年的检测经验对复合载体夯扩桩的低应变检测进行讨论。

一、反射波测完整性的原理

低应变完整性检测通常采用的方法为反射波法,是利用波在固体中的传播规律,通过桩低反射波信号分析判断桩身与桩底混凝土质量的一种无损检测方法。利用重锤在桩顶进行敲击产生震动波,震动波在固体中传播时,当传播介质发生变化或传播截面发生变化时,一部分波便会反射回桩顶。通过对桩顶传感器采集的信号进行数学积分,筛选、分离和放大,分析出桩身的缺陷。如图 1 所示的桩, m-m 面以上桩身面积为 A_1 ,纵波在其中传播的速度为 c_1 , m-m 以下桩身面积为 A_2 ,纵波在其中传播的速度为 c_2 ,入射波声压为 P ,反射波声压为 P_1 ,透过的声波声压为 P_2 。

$$P = p e^{-\alpha x} e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (1)$$

$$P_1 = p_1 e^{-\alpha x} e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (2)$$

$$P_2 = p_2 e^{-\alpha x} e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (3)$$

式中: p 、 p_1 、 p_2 为入射波、反射波、折射波的起始振幅值, ω 为阻尼运动的角频率, α 为衰减系数。

由于在任何截面固体介质中存在声压连续和振速连续,故:

$$P + P_1 = P_2 \quad (4)$$

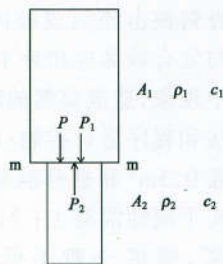


图 1 桩在变截面处的传播简图

$$v + v_1 = v_2 \quad (5)$$

振速与应力存在如下关系:

$$v = p/z \quad (6)$$

$$z = \rho c \quad (7)$$

其中: ρ 为介质密度; c 为声波在介质中传播的速度。根据图 1 力的传播方向,将式(6),(7)代入式(4),(5),则:

$$pA_1 + p_1A_1 = p_2A_2 \quad (8)$$

$$\frac{P}{z_1} - \frac{P_1}{z_1} = \frac{P_2}{z_2} \quad (9)$$

式中: z_1 、 z_2 为 m-m 截面上、下桩身材料的阻抗。由上式可以求出振速反射系数

$$R_v = \frac{p_1}{p} = \frac{\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2}{\rho_1 c_1 A_1 + \rho_2 c_2 A_2}$$

若 R_v 大于 0,通过截面的反射波的初相位与直达波的初相位相同;若 R_v 小于 0,两者的初相位相反。

对于普通混凝土桩,在桩底处由于桩身混凝土强度大于地基土的强度(嵌岩桩除外),即 $c_1 > c_2$,故 $R_v > 0$,桩底反射波相位与初相位相同,出现同向反射;对于桩身,当混凝土强度不变、桩身截面发生变化时,若桩身有缩径,截面减少,即 $A_1 > A_2$,则 $R_v > 0$,表明反射波相位与初相位相同,出现同向反射;若桩身某处扩径,即截面增加, $A_1 < A_2$,则 $R_v < 0$,表明反射波相位与初相位相反,出现反向反射;当桩身截面不变,桩身出现离析或夹泥、混凝土强度降低时, $c_1 > c_2$,则 $R_v > 0$,表明截面反射波相位与初相位相同,出现同向反射。

二、复合载体夯扩桩的低应变检测

对于复合载体夯扩桩,由于其上部为混凝土桩身,故工程中常常用低应变完整性来检测桩身混凝土质量。由于复合载体夯扩桩桩端为复合载体,桩端施工与普通混凝土桩不一样,故要正确分析复合载体夯扩桩的检测信号,判断其桩身质量和缺陷,必须了解该技术的原理和施工工艺。

复合载体夯扩桩从受力机理上讲,不属于常规桩基础,而是一种等效扩展基础。它以桩端土体为研究对象,利用重锤冲击成孔,当沉管到设计标高时,对桩端进行连续填料、夯实、挤密等操作,并用三击贯入度(锤重 35kN,落距 6.0m,自由落体)作为控制指标,再填以干硬性混凝土,使桩端以下深度为 3~5m、直径为 2~3m 区域约 10m³ 的土体得到最有效的加固挤密,形成复合载体,然后再放置钢筋笼、灌注混凝土而成。

1. 桩身判断

对于复合载体夯扩桩桩身缺陷的判断,由于其与普通混凝土没有太大区别,故判断方法与普通混凝土桩一致,根据众多的检测信号,分析出如下的检测结论,见表 1。

不同缺陷的反射波典型曲线特征 表 1

缺陷类别	曲线特征	对承载力的影响
缩径	桩底反射明显,在缺陷位置出现与入射波同向的波峰或波谷,但振幅较小。	当缩径严重时对承载力有一定影响
扩径	桩底反射明显,在缺陷位置出现与入射波反向的波峰或波谷。	不影响承载力
夹泥或离析	桩底反射明显,在缺陷位置出现与入射波同向的波峰或波谷,但振幅较小。	当夹泥或离析严重时对承载力有一定影响
断桩	无桩底反射,出现多次震荡的波形或大阻尼的震荡波形。	影响承载力

2. 对桩端信号的分析

普通混凝土桩由于桩体强度比桩端土体强度高,故桩底出现同相反射的信号。对于复合载体夯扩桩的桩底反射,情况就比较复杂,相当一部分人认为是与夯扩混凝土桩反射一致的反向反射,这种观点是不正确的。施工完毕的复合载体夯扩桩在地下水的作下,经过固化作用,形成一强度较高的复合载体基础,经开挖后分析,发现载体从上到下依次为干硬性混凝土、填充料、挤密土体,影响土体,材料密度依次降低,即 ρ 依次减小。因此桩端反射的信号比较复杂,受两方面因素影响,一方面桩端由于等效基础面积是逐渐增大的,另一方面载体的密度是逐层降低的。波在介质中传播的速度也逐渐降低,故桩端反射的信号取决于 $\rho_1 c_1 A_1$

$-\rho_2 c_2 A_2$ 的大小,当 $\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2$ 大于 0 时,出现同向反射,当 $\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2$ 小于 0 时,桩端出现反向反射。进一步分析即为载体的密度逐渐降低使桩底反射信号呈现同向反射,而面积增大反射信号与载体里的干硬性混凝土的反射信号呈现同样的反向反射,故实际桩底的信号决定于这两方面因素的影响,若干硬性混凝土填量大,三击贯入度控制较小、载体填料多的复合载体夯扩桩,则密度和声速的影响明显小, R_s 大于 0,复合载体夯扩桩桩底呈现反向反射;若干硬性混凝土少,则载体材料的密度和波速影响较大,则桩端出现同向反射信号,当没有干硬性混凝土、土体挤密效果差时,与普通混凝土桩相近,曲线也为标准的桩基础曲线。

3. 对桩端的判断

经过对多种地质条件下复合载体夯扩桩检测曲线的统计和分析,复合载体夯扩桩桩端反射信号大致呈现几种,如图 2。

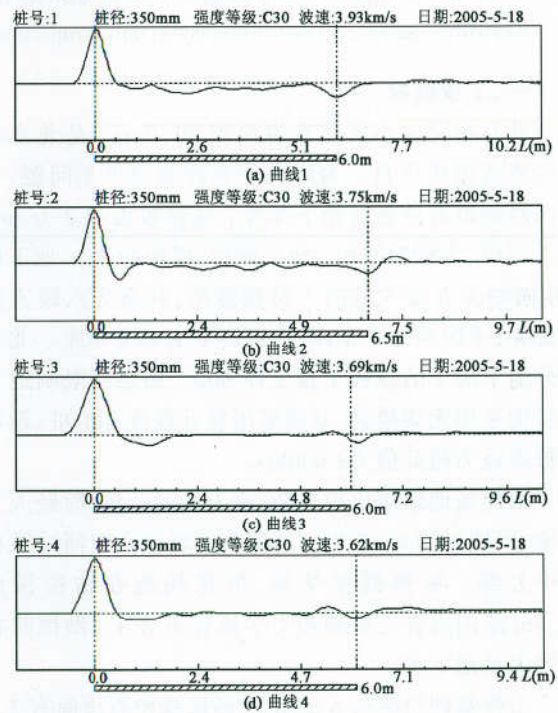


图 2 复合载体夯扩桩的典型低应变检测图形

其中曲线 1 为典型的复合载体夯扩桩曲线,由于干硬性混凝土扩径引起的同向反射信号大于载体部分介质密度降低引起的反向信号,故在桩底曲线呈现明显的反向反射。曲线 2 由于载体基础深度的影响土体范围较深,由于干硬性混凝土扩径产生的信号与载体材料产生的信号相互叠加形成。从曲线 3 可以看出,在反向反射波之前有一低幅的同向反射,这说明在夯实(下转第 6 页)

(3)用副卷扬机钢丝绳对护筒加压,使护筒底面与锤底齐平;

(4)重复步骤 2,3,将护筒沿垂直沉入到设计深度;

(5)提起夯锤,通过护筒投料孔向孔底分次投入填充料,并进行大能量夯击;

(6)填充料被夯实后,在不再填料的情况下连续夯击三次并测出三击贯入度,若三击贯入度不满足设计要求,重复步骤 5,6,直至三击贯入度满足设计要求为止;

(7)通过护筒投料孔再向孔底分次投入设计需要的干硬性混凝土,并进行夯击;

(8)放入钢筋笼;

(9)灌注桩身混凝土。

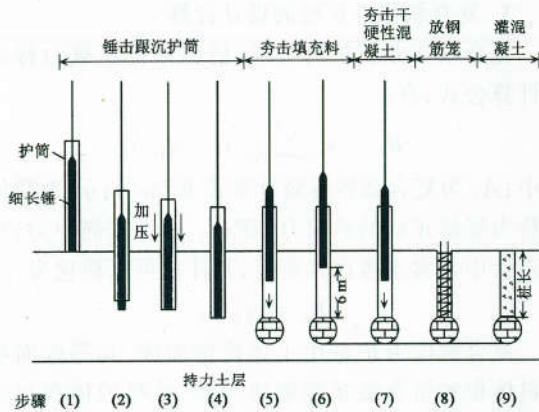


图 2 复合载体夯扩桩的施工工艺

复合载体夯扩桩的施工设备为液压步履式夯扩桩机(图 3),主要部件包括:1)由中空竖杆及支承斜杆等组成的框架;2)50kN快放式主卷扬机,用于提升及快

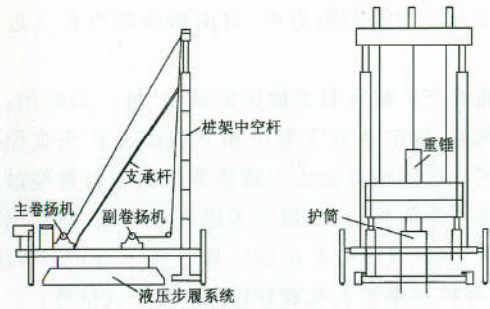


图 3 复合载体夯扩桩的施工设备

放重锤;3)30kN副卷扬机,用于反压和提升护筒;4)护筒,主要起导向和护壁作用,通常采用 $\phi 327 \sim 600\text{mm}$ 的无缝钢管,其长度视设计桩长而定。

四、展望

夯扩桩与复合载体夯扩桩的受力机理和设计施工中的不同之处,夯扩桩通过提管、夯击混凝土在桩端形成扩大头,对一定埋深内存在卵石、砾砂、砂性土等持力层的地基具有一定的经济效益。复合载体夯扩桩通过特定的施工工艺在桩端形成复合载体,是一种新型环保的施工工艺,具有广阔的推广前景和显著的经济效益。

参 考 文 献

1. 沈保汉. 桩基础施工技术现状及发展方向. 施工技术, 2000.
2. 杨家丽. 建筑工程地基处理技术-夯扩桩的设计与施工. 科学技术出版社, 1997.
3. Tomlinson M J(朱世杰译). 桩的设计和施工. 人民教育出版社, 1984.
4. 沈保汉等. 复合载体夯扩桩. 见:地基基础理论与实践新进展. 中国环境科学出版社, 2002.

(上接第 25 页)

的干硬性混凝土之上产生了类似缩径的信号,这样的信号来自于桩端混凝土质量受影响或桩身与载体的结合不良,但由于桩端同向反射小,说明这两方面影响较小,承载力不会受影响。曲线 4 在桩底有明显的同向反射,且振幅较大,同向反射后的反向信号也不明显,这类信号往往是由于相临桩施工时引起的桩身移动,造成载体与桩身结合不良,或是在载体与混凝土桩身间有夹泥或混凝土质量有缺陷等,对承载力有一定的影响,应根据试验而定。

根据众多工程实践,复合载体夯扩桩的桩身完整性检测容易出现的问题为载体与桩端的结合不良而影响承载力,而复合载体夯扩桩其承载力来源于桩端载体,只要三击贯入度满足设计要求,载体达到等效计算面积,只要对桩顶稍加复打,使桩端与载体结合密实,

即可达到设计的承载力。

三、结语

复合载体夯扩桩作为一种新型的地基处理技术,是等效扩展基础,同时也具有混凝土桩身,低应变检测时,应根据复合载体夯扩桩的结构特点与受力机理对桩身与桩端的缺陷进行正确分析和判断,根据其缺陷对承载力的影响进行分类,既保证复合载体夯扩桩的质量,又避免不合理的判断。

参 考 文 献

1. 国家建设工程质量监督检验中心. 桩基动测技术. 中国建筑工业出版社, 2002.
2. 罗骥先. 桩基工程检测手册. 人民交通出版社, 2002.
3. 建筑桩基检测技术规范. 中国建筑工业出版社, 2003.
4. 桩基工程手册编写委员会. 桩基工程手册. 中国建筑工业出版社, 1995.