

超声波法全程监控超长桩断桩处理的应用研究

张宏¹, 陈信春¹, 陈儒发²

(1. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410076; 2. 广东省长大公路工程有限公司, 广东 广州 511431)

摘要: 介绍了超长桩断桩的处理与超声波法检测桩基混凝土质量的声学原理。建立了专用的声速—强度回归曲线。用超声波法对超长桩断桩的处理实施全程的质量监控: 注浆前确定注浆的准确范围与部位; 注浆后检测和评定注浆效果, 并指出补注的必要性和具体部位; 补注后再次检测与评定补注效果。超声波法全程监控确保了注浆效果, 保证了该桩处理的成功。

关键词: 超长桩; 断桩处理; 超声波法; 全程监控

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2008)03-0420-05

作者简介: 张宏(1954-), 男, 甘肃会宁人, 教授, 主要从事现代基桩测试技术的教学、研究和实践工作。E-mail: zhanghongedu@126.com。

Application of the ultrasonic method to monitoring the whole process of treating super-long broken piles

ZHANG Hong¹, CHEN Xin-chun¹, CHEN Ru-fa²

(1. Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China; 2. Guangdong Provincial Changda Highway Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511431, China)

Abstract: A technology for the treatment of super-long broken piles and the acoustic principle of ultrasonic method applied to detect the quality of concrete of piles were introduced. The special curve of sonic speed-strength was derived by regression analysis for the adjudgement of concrete strength. The ultrasonic method was employed to monitor the quality during the whole process of treatment of super-long broken piles: determination of the precise location and position before casting; detection and assessment of treatment effects after casting and pointing out the necessity and position of supplementary casting; redetection and reassessment of the effects of supplementary casting. The casting effects and the successful treatment of the pile are ensured through the proposed method.

Key words: super-long pile; treatment of broken pile; ultrasonic method; whole process monitoring

1 工程概况

某大桥 13 号墩^{#1}桩, 采用直径 $\Phi 250$ cm 钻孔灌注桩, 设计桩长 96 m, 桩底标高 -97.0 m, 桩顶标高 -1.0 m, 施工平台顶面标高 +7.0 m, 基桩钢筋笼直径 224 cm (加劲箍)。

该桩在灌注混凝土时因导管无法提起, 只灌注 30 m 高混凝土, 达到 -67 m 标高, 待处理过程中有漏浆现象, 清孔时漏浆加剧, 为避免进一步漏浆导致垮孔, 进行了第二次混凝土灌注。后经超声波 CT 检测, 桩基在 -67.0 ~ -63.0 m 范围内存在缺陷, 钻芯和超声波 CT 检测结果如图 1, 2。

2 断桩处理

由于断桩位置较深, 且所对应的桩周土层为粉砂



图 1 处理前钻孔芯样

Fig. 1 Core of concrete before treatment

层和淤泥质亚黏土层, 所以处理时应先将缺陷部位封闭起来, 然后在桩身钻孔至缺陷段, 用高压浆液切割冲洗缺陷段内泥砂, 待泥砂清除干净形成空腔后, 注

基金项目: 西部交通建设科技资助项目 (030615)

收稿日期: 2007-04-05

入水泥浆挤出切割浆液, 再压入碎石混凝土, 最后高压旋喷水泥浆并搅拌。达到一定强度后, 进行超声波检测, 比较处理前后的变化, 评定注浆效果。

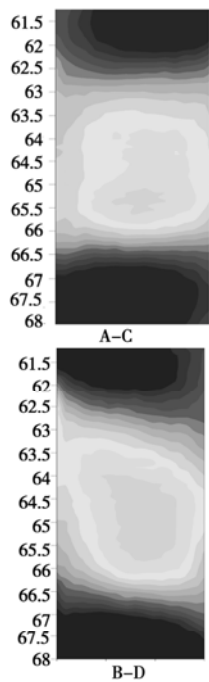


图 2 CT 检测图

Fig. 2 CT detection

2.1 桩周高压旋喷注浆帷幕

根据地质资料, 桩身缺陷段所对应的桩周土层为粉砂层和淤泥质亚黏土层, 在接桩二次灌注混凝土施工过程中, 有漏浆现象, 清孔时漏浆尤其严重, 说明桩孔与孔周围土层有水力联系, 存在漏浆通道。因此, 必须切断这些通道, 将桩身缺陷段封闭起来, 以阻止孔周围泥砂进一步涌入, 影响处理质量与效果。

为了将缺陷部位封闭起来, 在缺陷段空壁周围高压旋喷水泥浆, 形成旋喷桩帷幕, 旋喷桩的平面与立面布置如图 3, 4。

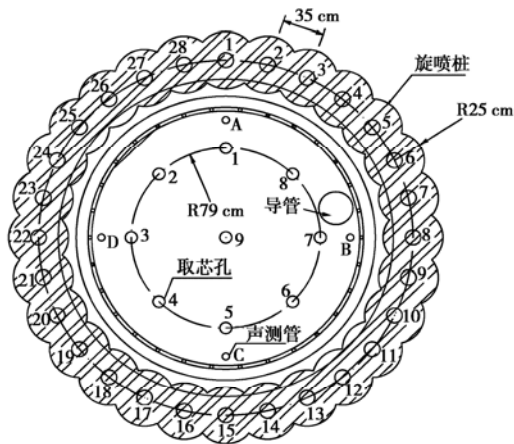


图 3 旋喷桩与桩身钻孔平面布置图

Fig. 3 Arrangement of holes and jet grouting piles

2.2 桩身缺陷清洗与加固

桩身缺陷切割清洗是此次断桩处理的关键步骤之一, 为了选择切割能量较大的介质, 分别用清水、膨润土泥浆、水泥浆和矿粉浆进行切割试验。喷嘴距离 C30 混凝土试块 15 cm 进行切割, 试验结果见下文。

由试验结果知, 矿粉浆切割冲击能量最大。此外矿粉浆还具有护壁作用强, 不会结块, 沉淀速度慢等优点, 因此选用加入适量外加剂的矿粉浆作为切割介质, 可以达到较好的效果。

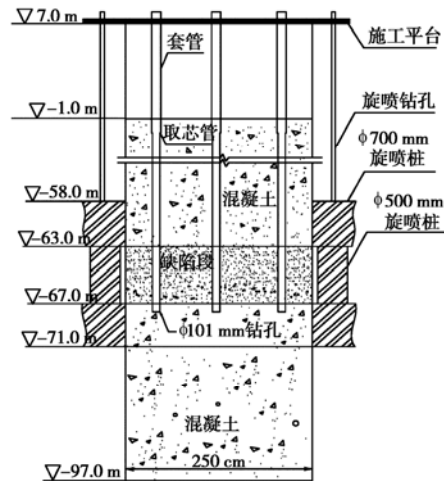


图 4 旋喷桩与桩身钻孔立面布置图

Fig. 4 Section of holes and jet grouting piles

表 1 切割试验结果

	切割深度/mm			密度 /(g · cm ⁻³)
	1min	2min	3min	
清水	1.0	1.5	2.0	1.0
膨润土泥浆	1.0	2.0	3.0	1.20
水泥浆	1.0	2.0	3.5	1.29
矿粉浆	1.0	2.5	4.0	1.15

在桩身混凝土中用 101 mm 地质钻机钻取 9 个芯孔, 平面布置如图 3。再用高压矿粉浆液逐孔旋喷切割桩身缺陷段, 将桩身夹泥切割成松散颗粒物后, 用气举反循环法逐孔清理, 使缺陷段形成充满矿粉浆液的封闭空腔, 再对空腔内注入高标号水泥浆 (水灰比 0.6 : 1), 将空腔内矿粉浆及未能全部清除的泥砂与碎石挤出孔外, 最后向空腔内高压注入碎石混凝土 (碎石粒径小于 2.0 cm), 逐孔高压旋喷水泥浆搅拌。为增强处理效果, 在孔口安装孔口管, 利用注浆泵对孔内灌注体加 1~2 MPa 压力, 使灌注体与原砼体结合紧密。

3 超声波法全程监控

3.1 超声波法监控的声学原理

声速即超声波在混凝土中传播的速度, 是混凝土超声检测的一个主要参数, 其大小取决于混凝土的密

度、弹性模量、泊松比等性质^[1]:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

式中 E 为混凝土杨氏弹性模量; μ 为混凝土的泊松比; ρ 为混凝土的密度。

声波在介质的传播过程中,其振幅(即能量)将随传播距离的增大而逐渐减小,这种现象称为衰减。衰减系数 α 是表征介质对声波衰减强弱的物理量,其大小及其变化不仅取决于超声频率及传播距离,也取决于被检测材料的内部结构及性质等:

$$\alpha = \frac{1}{x} 20 \lg \frac{p_0}{p} \quad (2)$$

式中 p_0 为 $x=0$ 处的声压,即声源的声压; p 为距声源 x 处的声压。

由于声波的声压与介质质点的振动位移幅值成正比^[1],所以上式可改写为

$$\alpha = \frac{1}{x} 20 \lg \frac{A_0}{A} \quad (3)$$

式中 A_0 为声源的幅值; A 为接收点幅值; x 为传播距离。

混凝土的超声检测就是用一发射换能器重复发射超声脉冲波,让超声波在被检测的混凝土中传播,然后由接收换能器接收。当超声波经混凝土中传播时,它即携带有关混凝土材料性能、内部结构及其组成的信息,通过测定超声波声速、幅值、波形等参数的大小与变化,可以推算出混凝土强度、内部结构及其组成情况。

基于上述超声波传播的基本原理,根据缺陷部位在处理的不同阶段所容纳的介质不同(泥砂、矿粉浆、碎石混凝土等),测定声学参数的变化,跟踪介质的置换过程,对处理过程进行全程监控,使之达到满意的质量和效果。

3.2 注浆全过程监控

为保证处理的效果,采用超声波法对处理过程进行全程监控,注浆孔及声测管布置如图 5。

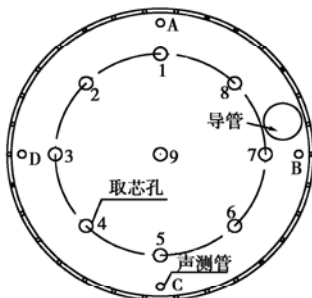


图 5 声测管与注浆孔平面布置图

Fig. 5 Arrangement of detector tubes and holes

注浆的全程监控共分为处理前的监测、旋喷帷幕

的监测、缺陷段切割清洗的监测、注浆处理的监测和补强注浆的监测 5 个阶段。

(1) 处理前的监测

在处理前对缺陷段进行了第一次超声波检测,桩基在 $-67.0 \sim -63.0$ m 范围内存在严重缺陷,声速为 2000 m/s 左右,波形杂乱,与 CT 检测结果一致。

(2) 旋喷帷幕的监测

根据试验资料和工程经验,桩周帷幕旋喷桩的强度可达 5 MPa,若旋喷浆液进入缺陷段内,则会影响到下一步的切割清洗,降低处理的质量和效果。

在桩周旋喷帷幕结束后,对缺陷段进行了第二次检测,与第一次结果相比无大的变化,说明旋喷体并未进入缺陷段内。

(3) 缺陷段切割清洗的监测

桩身缺陷部位切割清洗完成后,缺陷段内充满矿粉浆液时,进行了第三次超声波检测,此次检测波形与前两次检测结果反映的缺陷程度基本一致,切缺陷位置反映更加清晰,见图 6。平均声速为 1500 m/s 左右,与试验室配制的矿粉浆液的测试结果基本一致。说明矿粉浆液充盈缺陷段,且所含泥沙碎石等杂质较少,切割清洗效果较好。检测时矿粉液面稳定,无漏浆现象,说明旋喷桩帷幕效果良好,可以进行注浆加固。

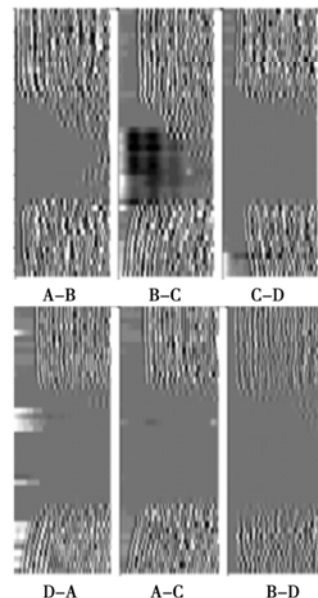


图 6 注浆前桩身缺陷段影像图

Fig. 6 Shadowgraphs of defected section before casting

(4) 注浆处理的监测

在注浆处理 7 d 后,对桩身处理段进行了第四次超声波检测,此次检测最小声速达 3000 m/s,波形也较处理前更为规则完好,如图 7,可以看出 6 个剖面的混凝土密实度较处理前均有很大的提高。但上下接触面和 B, C 声测管附近的注浆体密实度仍不理想,

声速偏小,波形较差,说明接触面处与B、C声测管附近的处理段清洗不够干净,致使注浆体与原混凝土的结合不理想,需要做进一步的补强处理。

鉴于上述情况,将C声测管的缺陷段处用高压水冲破,然后切割冲洗注浆效果较差部位,再由下向上进行补强注浆。待水泥浆达到一定强度后,再钻通声测管,清洗干净,以备检测用。在高压冲洗过程中,有泥浆返出,说明了监测结果的可靠性。

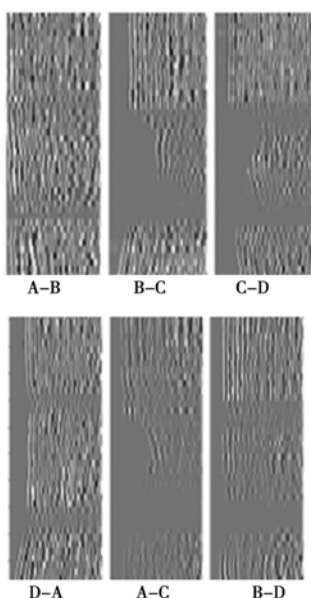


图7 注浆后7 d 桩身缺陷段影像图

Fig. 7 Shadowgraphs of defected section after casting (7 d)

(5) 补强注浆的监测

补强7 d后进行了第五次检测,此次检测波形正常,平均声速达4000 m/s以上,检测结果如图8,钻芯芯样如图9。

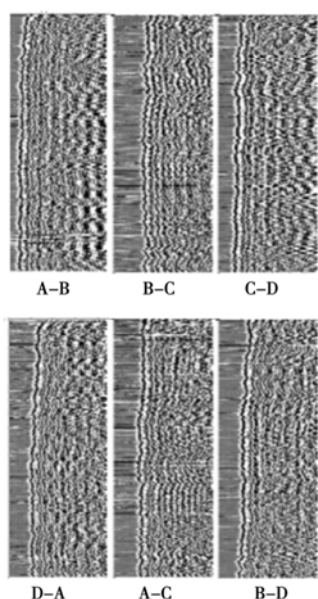


图8 补注后7 d 影像图

Fig. 8 Shadowgraphs after supplementary casting (7 d)



图9 补注后芯样图

Fig. 9 Core of concrete after supplementary casting

4 强度预测

注浆体的强度大小是评判此次处理成败的关键参数,但直接测定注浆体的强度却比较困难。钻芯法虽然较为直观、准确、可靠,但会对结构体造成局部损伤且成本较高,因此大量取芯受到一定的限制,而通过有限的芯样来评判整个处理段的强度也有一定的局限性和片面性。超声波法有效的弥补了钻芯法的不足,可以大量检测而不损坏结构体的强度,能测得处理段多个断面的声速与完整性,推算出结构体的强度。因此将两种方法综合使用,结果就比较经济、准确、可靠。

结构体的强度(f)与声速(v)都与材料的弹性模量等性质相关,二者之间存在较好的相关性^{[1][2]}。当得到了 $f-v$ 关系曲线后,通过声速可推算出结构体的强度。

影响 $f-v$ 关系曲线的因素很多^[1, 3],所以每个工程应优先选用专用曲线。为了准确地推算出注浆体的强度,实验室配制了多组试块,进行超声测试与破坏试验,得到了如图10的 $f-v$ 关系曲线:

根据文献[3],应用幂函数进行回归分析得出如下关系曲线:

$$f = 3.8923v^{1.6682} \quad (4)$$

回归曲线计算出的强度与实测强度之间必然存在一定的误差,相对标准差 e_r 即是误差估计的参数:

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum (\frac{y_i}{y_c} - 1)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (5)$$

式中 y_i 为试件强度实测值; y_c 为试件强度计算值,即以实测的声速 v_i 代入方程式计算出的强度值; n 为试件个数。经计算 $e_r = 6.46\%$,相对误差值较小。

实验室所采用的立方体试块测距只有15 cm,而实体测距达1.5~2.0 m,由于混凝土的衰减作用,当超声脉冲波穿过混凝土时,其高频部分首先衰减,穿过的距离越长接收到的频率越低,频率变低与声速变小的趋势一致,即测距增大会导致声速变小。为了在实体上测得的声速与立方体试块上测得的声速一

致,需要对实体上测得的声速进行修正。测距与修正系数有如下关系^[3]:

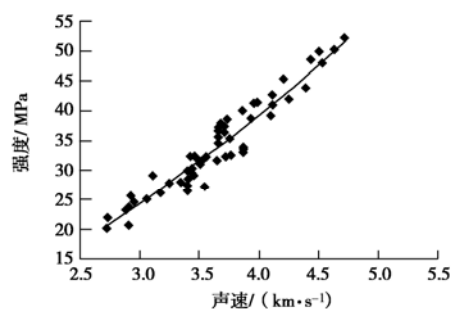


图 10 强度 - 声速回归曲线

Fig. 10 Regression curve of sonic speed-strength

表 2 测距与修正系数

Table 2 Distances and modified coefficients

测试距离/cm	100	150	200	300
修正系数	1.015	1.020	1.023	1.027

补强加固后,测得处理段的平均声速为 4.195 km/s,修正后的声速为 4.286 km/s,根据 $f-v$ 关系曲线,推算出的强度为 43.9 MPa,钻芯取样的强度为 42.6 MPa,误差为 3.05%。

5 结 语

在超长桩断桩处理中实施超声波法的全程监控,使断桩处理过程由不可知变为可知,随时掌握缺陷处理信息,减少了处理过程的盲目性,确保了注浆效果,

保证了该桩处理的成功,为类似工程提供了借鉴参考作用。

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. (LUO Qi-xian. Detection handbook of pile engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2003. (in Chinese))

[2] 陈 凡, 徐天平, 陈久照, 关立军. 桩基质量检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006. (CHEN Fan, XU Tian-ping, CHEN Jiu-zhao, GUAN Li-jun. Detection technology of quality of piles[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006. (in Chinese))

[3] 张 宏. 灌注桩检测与处理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001. (ZHANG Hong. Detection and treatment of filling pile[M]. Beijing: China Communications Press, 2001. (in Chinese))

[4] 宋人心, 王五平, 傅 翔, 张 剑. 灌注桩声波透射法缺陷分析方法——阴影重叠法[J]. 中南公路工程, 2006, 31(2): 77 - 92. (SONG Ren-xin, WANG Wu-ping, FU Xiang, ZHANG Jian. The shadow overlapping method—an defect analysis method for filling pile test with ultrasonic cross-hole testing[J]. Central South Highway Engineering, 2006, 31(2): 77 - 92. (in Chinese))

《岩土地震工程学》一书介绍与评价

在 1995 年 Steven L. Karamer 编著出版《Geotechnical Earthquake Engineering》(岩土地震工程学)和 2002 年 Robert W. Day 编著出版《Geotechnical Earthquake Engineering Handbook》(岩土地震工程手册)之后,我们十分高兴地看到了由陈国兴教授编著的我国第一部岩土地震工程的专著《岩土地震工程学》于 2007 年由科学出版社出版。

该书介绍了地震学和地震工程与岩土工程相关的基本知识,内容包括:强地震观测,地震动的随机过程、工程特性和人工合成,地震烈度与地震动参数的关系,反应谱,计算与应用等方面,阐述了地震动特性;通过土的动应力应变的黏弹塑模型、等效线性动黏弹模型、动弹塑性模型以及动剪切模量和阻尼比的估计等内容论述了土的动力本构关系;从共振柱试验、动三轴试验、土层波速试验和地脉动试验等方面介绍了目前国内常用的土动力学参数试验测定的原理、设备和方法;以水平成层场地和横向非均匀场地为例,系统论证了场地地震反应的分析方法以及深软场地的地震效应;基于国内外大量的试验与分析研究成果,论述了饱和黏性土动强度和饱和砂土的震液化特性以及液化势和确定性经验判别方法、概率分析方法、神经网络模型判别方法和场地液化势的综合判别方法;总

结归纳了土体地震永久变形的计算方法,包括有限滑动体位移法、整体变形法、随机反应分析法和地基震陷计算方法、深软场地上桩箱基础高层建筑和特大型桥梁群桩基础的地震效应分析方法以及土 - 结构相互作用对 TMS 减振控制影响的试验研究成果;通过震害实例、工程实例和大型振动台试验结果,阐述了地铁区间隧道、车站等地下结构的地震反应分析方法、地铁车站震害成灾机理以及地铁地下结构对周围场地设计地震动的影响;最后系统介绍了均质土坝和非均质土坝地震反应的剪切梁法、土坝地震稳定性评价的简化分析法和动力分析法。

目前,我国正处于基础设施工程、重大工程和城乡建设的高峰时期,政府和社会普遍高度重视工程安全和防灾减灾问题,这本专著的出版可谓是逢机应时,雪中送炭。它为从事岩土工程防震减灾研究、试验、勘察、设计和城乡规划、工程建设规划的专业技术人员以及相关专业的研究生提供了急需的专业参考书和教科书。我相信,基于这本专著所传播的岩土地震工程理论与技术的知识,将对我国岩土工程灾害预防和人才培养发挥重要的作用。

(中国地震局兰州地震研究所 王兰民 供稿)