

钻孔灌注桩沉渣厚度检测方法研究

王川婴¹, 韩增强¹, 王玉山²

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 2. 江苏省水文地质工程地质勘察院, 江苏 淮安 223005)

摘要: 通过理论分析和测试试验, 对钻孔灌注桩桩底沉渣厚度的检测方法进行了研究, 并开发了贯入式沉渣厚度检测系统。该系统使用便携式的 ARM 机替代计算机进行数据的采集和显示, 并基于 eMbedded C++ 开发了数据采集与分析软件, 通过寻找沉渣与天然地层的分界面位置来确定沉渣厚度。最后通过试验对该系统的测试精度和对测试环境的要求进行了研究。结果显示, 该方法的测量误差在 0.01~0.09 cm 之间, 并且受不同测试环境的影响较小, 能够较好地完成桩底沉渣厚度的检测。

关键词: 沉渣厚度; 钻孔灌注桩; 贯入式检测系统; eMbedded C++

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S2-1212-04

作者简介: 王川婴(1962-), 男, 湖北武汉人, 研究员, 博士生导师, 主要从事岩土工程测试技术领域的教学与研究工作。E-mail: hanzengqiang01@163.com。

Detection method for bottom sediment thickness of bored piles

WANG Chuan-ying¹, HAN Zeng-qiang¹, WANG Yu-shan²

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. Institute of Hydrogeology and Geological Engineering, Huai'an 223005, China)

Abstract: Based on the theoretical analysis and experimental tests, a detection method for bottom sediment thickness of bored piles is studied. Further, a penetration test system to detect the bottom sediment thickness of bored piles is developed based on the bottom sediment definition of piles and its mechanical properties. EMbedded ARM computer is used to collect data in this system, and the system control software is developed by Microsoft eMbedded Visual C++ 4.0. By detecting the interface between sediment and natural clay, the bottom sediment thickness of piles is measured. Finally, the precision and environmental requirements of the system are analyzed through field tests. The results show that the proposed method can complete accurate measurement of sediment thickness with error of only 0.01~0.09 cm and little effect on test environment.

Key words: sediment thickness; bored pile; penetration test system; eMbedded C++

0 引言

钻孔灌注桩在施工过程中具有无挤土、振动噪音影响小的优点, 在高层建筑、路桥工程、地质灾害治理等工程中受到广泛应用。但在施工过程中, 由于施工工艺和施工环境的影响, 桩底往往会形成具有一定厚度、力学性质相对较弱的沉渣, 在桩身和原状土之间形成了一层软弱地带, 影响桩端承载力, 从而使钻孔灌注桩的承载力及沉降量无法达到设计要求。因此, 现行的有关规范和标准对桩底沉渣厚度做了明确的规定, 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008) 规定^[1]: 钻孔达到设计深度, 灌注混凝土之前, 孔底沉渣厚度应符合下列规定: 对端承型桩, 不应大于 50 mm; 对摩擦型桩, 不应大于 100 mm。《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002) 规定^[2]: 端承桩沉渣厚度不超过 50 mm; 摩擦桩沉渣厚度不超过 150 mm。

虽然有明确的沉渣厚度标准要求, 但目前正在使用的测试手段缺乏理论上的准确计算, 而且测试结果存在较多的人为因素, 很难得到精确的测试结果。其中, 梁启新等^[3]采用重锤法测量沉渣厚度, 该方法没有可靠的定量计算, 测量结果的准确度不高; 李海梁^[4]通过静力贯入的方法进行厚度测量, 有较好的理论依据, 但是所使用的检测仪器庞大笨重, 而且无法适应复杂多变的地层; 谢和平等^[5]采用“侧钻法”对水下深孔灌注桩桩底沉渣厚度进行了检验, 通过取芯观察有无沉渣存在以及判断其厚度, 直观可靠, 但属事后判断, 不适合在灌注桩施工之前对桩底的沉渣厚度进行测量。因此, 非常有必要探索更为简单有效的沉渣厚度检测方法。

1 理论分析

沉渣是指在钻孔时钻头破碎岩土体后, 被切削的岩土碎屑与泥浆混合在一起, 虽经反复清洗孔底, 但仍未全部清除而残落在孔底的物质。由于受到重力、浮力和泥浆阻力的影响, 沉淀于底部的沉渣呈上松下密的状态, 上方的物质多为泥浆沉淀, 呈絮绒状, 随着混凝土的浇筑, 大部分将会被挤压而返升到地面; 底部多为破碎岩屑, 在混凝土的浇筑过程中, 能够承受压力而留在桩底。规范中所指的沉渣厚度即为混凝土浇筑完成后仍然残留在桩底的沉渣的厚度。

《钻孔灌注桩施工规程》中规定^[8]: 混凝土浇筑过程中导管应始终埋入混凝土中, 最小埋入深度不得小于 2 m。因此, 在浇筑混凝土过程中, 桩底的沉渣至少要承受 2 m 厚混凝土的压力, 随着浇筑深度的不断增加, 无法承受压力的上部絮绒物质将会被挤压而抬升到地面, 如图 1 所示, 底部的沉渣由于具有一定的承载力而残留在桩身底部。

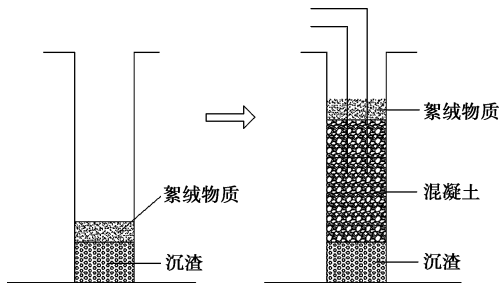


图 1 浇注混凝土前后沉渣的变化

Fig. 1 Variation of bottom sediment after concreting

在导管第一次提升之前, 假设浇筑混凝土的高度 h 为 2.5 m, 沉渣顶面受到混凝土自重压力、泥浆浮力的作用。该部分混凝土产生的压力为

$$G = \gamma_w - \gamma_s \cdot h = (22 - 12) \times 2.5 = 25 \text{ kN/m}^2$$

其中, γ_w 为混凝土的重度, γ_s 为泥浆重度。

此压力值即为沉渣所能承受的最大压力值, 也即沉渣顶面的额定压力值。小于此值的顶面浮渣将会受到挤压而排出孔口, 大于此值的沉渣则会留在孔底。在本文的研究中主要以此为依据进行沉渣厚度测量系统的研制和试验研究。

2 贯入式沉渣厚度检测系统研制

2.1 硬件部分

系统的硬件部分由测试探头、钢缆、电缆、仪器控制箱、控制处理单元、绞车等组成, 系统框架图如图 2 所示。其中测试探头是该系统的关键设备, 它的内部包含有探针、位移传感器以及工作电路板, 并且采用了高压密封技术, 可以在水下进行测量。仪器控

制箱是该系统对测试探头发出的数据进行接收处理的主要设备, 它采用 ARM 机代替计算机进行数据处理, 操作简单, 而且大大减小了设备所占的空间。

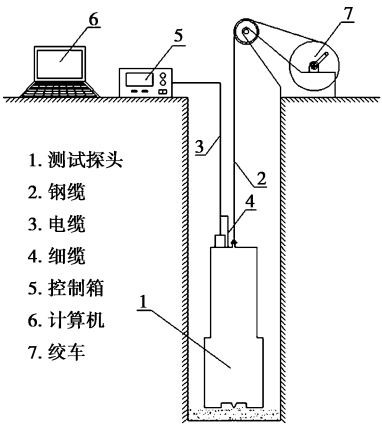


图 2 贯入式沉渣厚度检测系统框图

Fig. 2 Sketch of penetration test system of sediment thickness

在探针的设计上, 为了避免锤击后沉渣的塌落, 采用重锤贯入凹槽型探针的方式进行操作, 如图 3 所示, 当探针受到重锤锤击而发生运动时, 位移测量区会带动测量轮转动, 而传感器与测量轮同步转动, 测量电路将传感器的转动信号准确地记录, 并传输至地面的计算机, 通过换算确定探针的位移量。

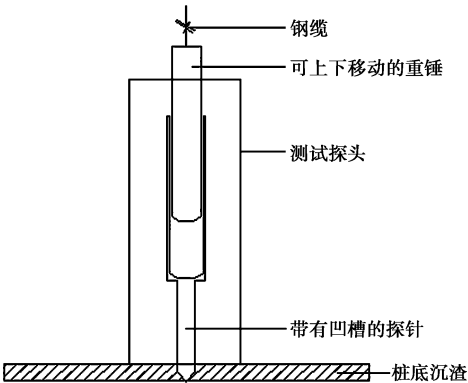


图 3 探针设计示意图

Fig. 3 Design sketch of detector

2.2 软件部分

系统的软件部分安装在仪器控制箱的 ARM 机中, 其界面如图 4 所示。该软件采用 eMbedded Visual C++编写, 界面良好, 操作简单, 并且可以方便地进行二次开发。它的主要功能包括: ①接收测试探头发出的数据, 并实时显示探针的锤击次数和贯入深度; ②自动地分析并记录有效数据; ③在探针贯入过程中, 自动绘制锤击数—贯入深度曲线; ④测试完毕后, 能够对记录到的数据进行保存; ⑤通过分析曲线特征, 自动计算出沉渣厚度值。

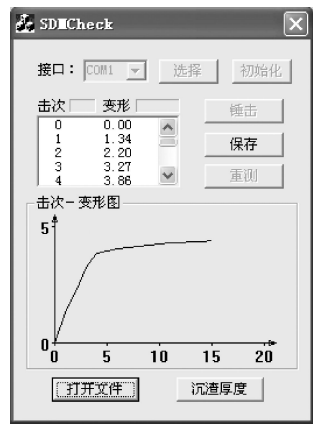


图 4 系统控制软件界面

Fig. 4 Control software of system

2.3 沉渣厚度的测定原理

(1) 沉渣顶面的测定

为实现上述沉渣厚度的力学额定值，该系统利用测试探头的自重，通过改变探头底面的面积使其能够在沉渣顶面产生 25 kPa 的压力。在设备工作时，系统测试探头放置于沉渣顶面上，利用探头自身重量将沉渣顶部絮绒物质挤压出去，此时测试探头的所在位置就是我们z需要测定的沉渣顶面（如图 5）。

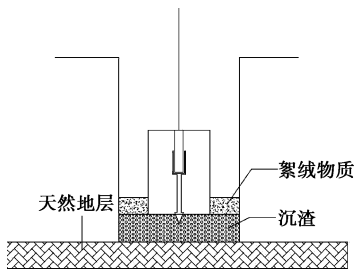


图 5 沉渣上下界面位置的确定演示

Fig. 5 Position of top and bottom interfaces of sediment

(2) 沉渣底面的测定

在测试探头放置到沉渣顶面位置之后，即可通过贯入探针来测定沉渣底面的位置。手动锤击探针，将其贯入沉渣直至原始地层中，仪器控制箱中的测试软件会自动绘制锤击数 - 贯入深度曲线，观察曲线的变化，在曲线出现明显拐点之后即可停止锤击。

桩底沉渣与天然土层之间存在明显的界面，二者力学性质差别很大，所以在探针贯入沉渣直至天然土层过程中，锤击数 - 贯入深度曲线（如图 6）必然会出现明显的拐点，这个拐点的位置就是沉渣底面的位置。

3 试验研究

3.1 测试精度分析

在进行现场试验之前，要对系统的测量精度进行标定，规范中对沉渣厚度的要求是不超过 50 mm 或 100 mm，所以系统的测量精度要达到 1 mm，才能保

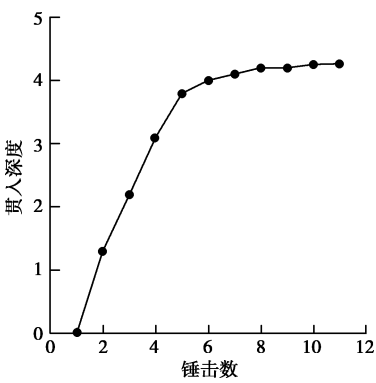


图 6 锤击数 - 贯入深度曲线

Fig. 6 Curve of hammer number and penetration depth

证测试的结果达到规范的要求，使误差尽可能地降到最小。分别选取 5，10，15 cm 的沉渣厚度作为测量基准，进行多次试验，得出不同测量基准的结果误差（见表 1），进而确定系统的测量精度。

表 1 不同测量基准下的测试结果

Table 1 Results of different test standards

(cm)

锤击完成后的读数	测量基准	绝对误差	相对误差
5.02	5.00	0.02	0.40
5.03	5.00	0.03	0.60
4.99	5.00	0.01	0.20
5.00	5.00	0.00	0.00
9.96	10.00	0.04	0.40
9.98	10.00	0.02	0.20
10.05	10.00	0.05	0.50
10.04	10.00	0.04	0.40
15.05	15.00	0.05	0.33
14.94	15.00	0.06	0.40
15.09	15.00	0.09	0.60
15.08	15.00	0.08	0.53

设备的测量精度(最大误差/量程×100%): 0.6

从试验的结果可以看出，该设备的误差在 0.01~0.09 cm 之间，测量精度为 0.6。

3.2 现场试验

为了验证系统在现场应用的适用性，在直径为 1 m 的模拟钻孔内进行了试验，钻孔孔壁使用水泥护砌，以防止掉落的渣土对试验结果造成影响。为了更真实地模拟现场环境，分别对黏土型沉渣和碎石型沉渣进行试验（见图 7，8），且均在有泥浆的环境中进行。

试验中设定的沉渣厚度值为 10 cm，从测试的结果可以看出（见表 2），两种类型沉渣的测试值都偏小，而且黏性土沉渣较碎石土沉渣的测试结果要更加低于设定值。这是由于在测试过程中，探头本身的自重会将沉渣压实一些，从而使测试的结果偏小。同一厚度、两种不同类型的沉渣所产生的测试结果相差 0.054 cm，表明沉渣类型的不同对测试结果的影响很小，可

以忽略不计。

表 2 同一厚度、不同类型沉渣的试验结果对比

Table 2 Results of different sediments with same depth

沉渣类型	黏性土沉渣/cm	碎石土沉渣/cm
第一点测试结果	9.88	9.96
第二点测试结果	9.91	9.98
第三点测试结果	9.92	9.93
平均值	9.903	9.957

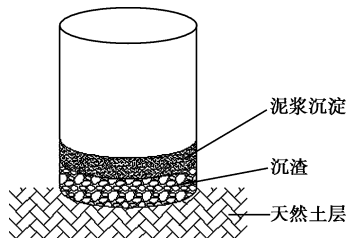


图 7 现场试验中沉渣厚度侧视示意图

Fig. 7 Schematic diagram of field tests



图 8 现场试验照片

Fig. 8 Picture of field tests

4 结 论

(1) 钻孔灌注桩桩底沉渣的力学性质与天然地层存在较大的差异，利用该差异可以确定沉渣与天然地层的分界面。

(2) 贯入式沉渣厚度检测方法通过动力贯入的手段，绘制锤击数与贯入深度的关系曲线，建立有效的计算机算法，自动计算沉渣厚度，减少了对沉渣和天然地层力学性质等背景资料的要求，测试结果准确，误差小，具有显著的科学性和实用性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国行业标准编写组. JGJ 94—94 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. JGJ 94—94 Technical code for building pile foundation[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008. (in Chinese))

[2] 中华人民共和国建设部. GB 50202—2002 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (Ministry Construction of the People's Republic of

China. GB 50202—2002 Code for acceptance of construction quality of building foundation[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))

[3] 梁启新, 张彦舒. 重锤测量孔底沉渣厚度的方法[J]. 建筑工人, 2005(9): 18 - 19. (LIANG Qi-xin, ZHANG Yan-xin. A method of measuring the thickness of the borehole bottom sediment[J]. Builders' Monthly, 2005(9): 18 - 19. (in Chinese))

[4] 李海梁. 大直径钻孔灌注桩沉渣检测技术的探索[J]. 中外公路, 2005(2): 97 - 99. (LI Hai-liang. Study on sediment detection techniques of large diameter bored piles[J]. Journal of China and Foreign Highway, 2005(2): 97 - 99. (in Chinese))

[5] 谢和平, 杨玉银, 姜凌宇. “侧钻法”在水下深孔灌注桩桩底沉渣厚度检验中的应用[J]. 四川水力发电, 2002, 12(2): 84 - 89. (XIE He-ping, YANG Yu-yin, JIANG Ling-yu. Application of "side drilling method" in sediment thickness inspection at the bottom of deep underwater grouted pile[J]. Sichuan Water Power, 2002, 12(2): 84 - 89. (in Chinese))

[6] 胡仁丁. 桩底沉渣对大直径钻孔灌注桩承载力的影响分析[J]. 地下工程与隧道, 2004(3): 22 - 24, 58. (HU Ren-ding. Effect of settled material of pile bottom on bearing capacity of large diameter bored pile[J]. Underground Engineering and Tunnels, 2004(3): 22 - 24, 58. (in Chinese))

[7] 喻小明, 潘 军, 杨年宏, 等. 桩底沉渣与桩周泥皮对大直径钻孔灌注桩竖向承载力的影响分析[J]. 矿冶工程, 2006, 26(6): 9 - 12. (YU Xiao-ming, PAN Jun, YANG Nian-hong, et al. Impact of bottom settlements and mud cake on vertical supporting capacity of large-diameter predrilled cast-in-place pile[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2006, 26(6): 9 - 12. (in Chinese))

[8] 彭振斌. 灌注桩工程设计计算与施工[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. (PENG Zhen-bin. Piles design calculations and construction[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. (in Chinese))

[9] 胡建国. 冲击钻嵌岩灌注桩沉渣厚度测量方法[J]. 西部探矿工程, 2003(3): 135. (HU Jian-guo. A sediment thickness measurement method of rock-socketed pile[J]. West-China Exploration Engineering, 2003(3): 135. (in Chinese))

[10] 屈彦玲, 彭彦彬, 杜建华. 钻孔灌注桩的超声波透射法检测[J]. 山西建筑, 2007, 33: 26 - 27. (QU Yan-ling, PENG Yan-bin, DU Jian-hua. Ultrasonic transmission method of bored piles[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33: 26 - 27. (in Chinese))